

TỔNG LUẬN SỐ 6/2011

**BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TOÀN CẦU, NGUYÊN NHÂN,
HIỆN TRẠNG VÀ CHÍNH SÁCH CÔNG NGHỆ
QUỐC GIA LIÊN QUAN**

CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội. Tel: (04)38262718, Fax: (04)39349127

Ban Biên tập: TS Tạ Bá Hưng (*Trưởng ban*), ThS Cao Minh Kiểm (*Phó trưởng ban*),
ThS Đặng Bảo Hà, Nguyễn Mạnh Quân, ThS Nguyễn Phương Anh,
Phùng Anh Tiến.

MỤC LỤC

| | <i>Trang</i> |
|--|--------------|
| LỜI GIỚI THIỆU | 1 |
| I. BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TOÀN CẦU, NGUYÊN NHÂN, DỰ ĐOÁN TÁC ĐỘNG TƯƠNG LAI | 2 |
| 1. Những biến đổi khí hậu toàn cầu | 2 |
| 2. Những hoạt động của con người tác động đến biến đổi khí hậu | 4 |
| 3. Dự báo xu hướng biến đổi khí hậu tương lai và tác động của nó | 9 |
| II. CÁC LĨNH VỰC HOẠT ĐỘNG CON NGƯỜI GÂY RA PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH | 14 |
| 1. Các xu thế phát thải khí nhà kính quá khứ, hiện tại và tương lai | 14 |
| 2. Các lĩnh vực hoạt động của con người dẫn đến phát thải khí nhà kính | 17 |
| 3. Phát triển bền vững và giảm nhẹ biến đổi khí hậu | 26 |
| III. GEOENGINEERING VÀ CHÍNH SÁCH CÔNG NGHỆ QUỐC GIA LIÊN QUAN | 31 |
| 1. Khái niệm về geoenengineering (kỹ thuật khí hậu) | 31 |
| 2. Các công nghệ geoenengineering | 33 |
| 3. Chính sách công nghệ quốc gia liên quan đến geoenengineering | 47 |
| 4. Hợp tác quốc tế về geoenengineering | 54 |
| KẾT LUẬN | 59 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO | 64 |

LỜI GIỚI THIỆU

Biến đổi khí hậu được cho là sẽ tác động mạnh mẽ đến các nước đang phát triển. Các tác động của nó như nhiệt độ cao hơn, những thay đổi ở mẫu hình về lượng mưa, mực nước biển dâng cao và các thảm họa thiên tai diễn ra thường xuyên hơn, đang trở thành mối đe dọa nghiêm trọng đối với nền nông nghiệp, cung ứng lương thực và nguồn nước, và có thể cướp đi những thành quả đã đạt được trong các lĩnh vực chống nghèo đói và bệnh tật. Cuộc sống và kế sinh nhai của hàng tỷ người dân tại các nước đang phát triển có nguy cơ bị tổn hại.

Ở tầm cỡ quốc gia, biến đổi khí hậu có thể làm giảm thu nhập và làm tăng các nhu cầu chi tiêu, làm tồi tệ thêm hiện trạng tài chính công. Các nước đang phát triển dễ bị tổn thương nhất trước những tác động của biến đổi khí hậu bởi vì họ thiếu các nguồn lực về xã hội, công nghệ và tài chính để có thể ứng phó. Biến đổi khí hậu được dự báo sẽ gây ra những ảnh hưởng với phạm vi rộng đến phát triển bền vững, bao gồm cả khả năng thực hiện các mục tiêu phát triển thiên niên kỷ của Liên hiệp quốc. Chính phủ nhiều quốc gia đang phát triển đã xây dựng các chương trình hành động về chống biến đổi khí hậu và coi đó là mục tiêu ưu tiên hàng đầu của quốc gia.

Cục Thông tin KH&CN Quốc gia biên soạn tổng quan: "**BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TOÀN CẦU, NGUYÊN NHÂN, HIỆN TRẠNG VÀ CHÍNH SÁCH CÔNG NGHỆ QUỐC GIA LIÊN QUAN**" nhằm mục đích phản ánh một thực trạng rằng, khí hậu toàn cầu đã và đang biến đổi, với nguyên nhân chủ yếu là do các hoạt động của con người gây ra. Bằng tổng quan này, độc giả được cung cấp thông tin về những tác động của biến đổi khí hậu theo các kịch bản dự báo được cho sẽ rất nghiêm trọng, thậm chí nó có thể vượt quá khả năng kinh tế, kỹ thuật và chính trị của thế giới trong việc đối phó và thích nghi. Việc chú trọng nghiên cứu về kỹ thuật khí hậu (hay geoengineering) cũng là điều cần thiết để hiểu biết tốt hơn về những công nghệ hay những phương pháp nào có thể tạm thời sử dụng như là những chiến lược đáng tin cậy trong kiểm soát sự thay đổi khí hậu.

Xin trân trọng giới thiệu cùng độc giả.

CỤC THÔNG TIN KH&CN QUỐC GIA

I. BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TOÀN CẦU, NGUYÊN NHÂN, DỰ ĐOÁN TÁC ĐỘNG TƯƠNG LAI

1. Những biến đổi khí hậu toàn cầu

Nền nhiệt độ toàn cầu: Nhiệt độ trung bình trên bề mặt Trái đất, tức là nhiệt độ trung bình toàn cầu (Global mean temperature - GMT), đã tăng khoảng 0,6 - 0,8°C (tương đương 1,1 - 1,5°F) từ năm 1880 - 2004. Sự ấm lên vẫn đang diễn ra trên mặt đất và bề mặt nước biển. Tuy vậy, trong thế kỷ 20 hiện tượng này không phải đã diễn ra một cách liên tục đều đặn. Trong khoảng thời gian từ 1910 - 1945, nhiệt độ Trái đất đã tăng lên, nhưng sau đó lại giảm nhẹ và ổn định trong suốt thập niên 70. Tuy nhiên, kể từ năm 1979, hiện tượng này đã quay trở lại với mức nhiệt tăng cao hơn gấp đôi so với mức tăng trung bình của cả thế kỷ 20, đạt khoảng 0,18°C/thập kỷ (tương đương 0,32°F/thập kỷ). Một nhóm chuyên gia của Viện Hàn lâm Khoa học Quốc gia (Mỹ) đã xác nhận rằng hiện tượng nóng lên cũng diễn ra ở trung tầng đối lưu (mid-troposphere) mặc dù mức nhiệt tại đây có thấp hơn so với trên mặt đất. Xét về khía cạnh toàn cầu, 2005 là năm có nền nhiệt cao nhất trong gần 130 năm có số đo nhiệt độ trực tiếp ngoài trời; và 2006 là năm thứ 6 đạt mức nhiệt độ cao kỷ lục. Toàn bộ 10 năm nhiệt độ cao kỷ lục đã diễn ra kể từ năm 1994.

Bằng chứng rõ ràng nhất về hiện tượng này chính là kết quả của những phép đo nền nhiệt trên đại dương, theo đó nhiệt độ tại đây đã tăng 0,04°C kể từ năm 1955. Các đại dương giữ khoảng 84% lượng nhiệt trên Trái đất, do vậy mức nhiệt tăng nói trên dù rất nhỏ nhưng lại chính là hệ quả của sự thay đổi nhiệt độ trong thời gian dài. Một bằng chứng khác minh chứng cho hiện tượng nóng lên toàn cầu là sự thay đổi về nhiệt độ của các lục địa (đo từ các lỗ khoan đá trên mặt đất) theo chiều hướng tăng lên khoảng 0,02°C trong vòng 5 thập kỷ đã qua. Cả hai sự thay đổi trên đại dương và trong lục địa đều chỉ ra rằng nhiệt độ không khí bề mặt đang tăng dần.

Lượng mưa toàn cầu. Con người và các hệ sinh thái đều bị ảnh hưởng bởi nhiều khía cạnh của thời tiết, trong đó có lượng mưa - một yếu tố đã và đang tăng lên trong thế kỷ vừa qua. Điều này hoàn toàn phù hợp với kiến thức khoa học thông thường: nhiệt độ tăng làm nước bay hơi nhiều, gây ra mưa để duy trì trạng thái cân bằng của vòng tuần hoàn nước. Trên mặt đất, lượng mưa đã tăng khoảng 2% kể từ năm 1900, tuy nhiên, lượng mưa này cũng biến động khá lớn, tùy vào thời gian và vị trí địa lý. Chỉ một vài khu vực là có sự thay đổi đáng kể. Ở hầu khắp nước Mỹ và những nước có độ cao so với mực nước biển lớn khác, trừ Nga, độ ẩm trong không khí đều tăng, trong khi ở những vùng cận nhiệt đới như Sahel thuộc châu Phi, lượng mưa lại đang giảm dần.

Thái cực khí hậu. Theo Trung tâm dữ liệu khí hậu quốc gia thuộc Cục Khí quyển và đại dương quốc gia Mỹ (National Oceanic and Atmospheric Administration -

NOAA) cho biết, tần suất hay cường độ của những diễn biến khí hậu cực đoan đang có một số biến đổi khác thường trên quy mô toàn cầu. Không có xu hướng tần suất bão toàn cầu nào được xác định. Mặc dù xu hướng về nhiệt độ lạnh cùng cực vào mùa đông ít xảy ra hơn ở một số nước đã khá rõ ràng, trong khi vẫn chưa có bất kỳ dự báo nào về tần suất nhiệt độ cao đỉnh điểm vào mùa hè. Các nhà nghiên cứu của Trung tâm nghiên cứu khí tượng quốc gia NOAA vừa khám phá ra rằng “hiện tượng khô hạn đã diễn ra và ngày một lan rộng tại nhiều quốc gia châu Âu, châu Á, Canada, Tây và Nam Phi, và Đông Australia. Nguyên nhân chính là do nền nhiệt độ toàn cầu đang tăng dần”. Số lượng những vùng khô hạn đã tăng lên hơn 50%, chủ yếu là do điều kiện thời tiết không thuận lợi ở Sahel và Nam Phi kéo dài trong vài thập kỷ qua. Các nhà nghiên cứu còn phát hiện thấy số lượng dòng lũ lớn trên toàn thế giới cũng đã tăng lên đáng kể trong thế kỷ 20, đặc biệt là vào nửa cuối thế kỷ. Tần suất lũ có chu kỳ lặp vượt quá 200 năm cũng tăng đáng kể, trong khi những trận lũ có chu kỳ lặp dưới 100 năm lại không biến động nhiều. Tại hầu hết mọi khu vực, dữ liệu thu thập không đầy đủ là do gặp khó khăn trong khâu phân tích, đánh giá xu hướng hoạt động của thời tiết do các hiện tượng thời tiết hoạt động với tần suất thấp và có sự thay đổi theo không gian.

Những cuộc tranh luận với nhiều ý kiến bất đồng về các xu hướng tần suất và cường độ của các cơn bão lớn hay lốc xoáy vẫn đang tiếp diễn. Khoảng 85% diện tích đại dương trên thế giới không có đủ dữ liệu để phát hiện những thay đổi về dài hạn. Chỉ có vùng lưu vực Đại Tây Dương cận nhiệt đới (extra-tropical) được tiến hành nghiên cứu và đã thiết lập được mối liên quan rõ ràng giữa nhiệt độ bề mặt nước biển với số lượng và mức độ nghiêm trọng ngày một tăng của những cơn bão cuồng phong hay lốc xoáy. Từ giữa thập niên 80, những dữ liệu thu được từ vệ tinh đã cho thấy sự khác biệt ngày một lớn trong mối tương quan giữa hoạt động của bão nhiệt đới với nhiệt độ bề mặt nước biển tại khu vực Đông Đại Tây Dương và cùng với các yếu tố khác. Cần có thêm nhiều dữ liệu quan trắc chất lượng cao đi kèm với kiến thức tăng cường về bão nhiệt đới để làm quy chiếu xác định những thay đổi về hoạt động của các trận cuồng phong có ảnh hưởng tới tự nhiên, làm tăng phát thải khí nhà kính, hoặc những hậu quả nghiêm trọng khác. Hội nghị các chuyên gia quốc tế về bão nhiệt đới diễn ra vào tháng 11/2006 do Tổ chức Khí tượng Thế giới (World Meteorological Organization) triệu tập đã đưa ra kết luận rằng “mặc dù vẫn còn có nhiều quan điểm nghiên cứu khác nhau về vấn đề này, nhưng điều được nhất trí đó là: nếu có bất kỳ một sự gia tăng đột biến gần đây nào về hoạt động của bão nhiệt đới mà nguyên nhân chủ yếu xuất phát từ con người, thì chắc chắn nhân loại đang phải đối mặt với một mối đe dọa lớn và không thể lường trước”.

2. Những hoạt động của con người tác động đến biến đổi khí hậu

Hầu hết các nhà khí hậu học đều nhất trí rằng hoạt động của con người đã làm thay đổi khí hậu trên Trái đất, đặc biệt là kể từ sau cuộc Cách mạng công nghiệp. Việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch và phát quang đất thường xuyên, cùng những hoạt động sản xuất công nghiệp và nông nghiệp đã dẫn đến hệ quả là phát thải một loại khí gây hiệu ứng nhà kính thường gọi tắt là khí nhà kính (Greenhouse gases - GHG). Những hoạt động khác của con người cũng có tác động lên thời tiết bao gồm ô nhiễm không khí, điển hình là khí ozon ở tầng đối lưu, sơn khí (các hạt rất nhỏ), thay đổi cách thức sử dụng đất, mở rộng và phát triển đô thị, và khí thải của máy bay. Những hoạt động này có ảnh hưởng thế nào đến biến đổi khí hậu sẽ được đề cập đến trong phần dưới đây.

Khí nhà kính. Lượng khí nhà kính tập trung trong bầu khí quyển Trái đất đã tăng gấp nhiều lần kể từ sau Cách mạng công nghiệp, lượng CO₂ tăng từ 280 ppm năm 1850 lên mức khoảng 380 ppm hiện nay. Sự hiện diện của khí nhà kính đã tạo thành chiếc bẫy hấp thụ năng lượng mặt trời và làm nóng trái đất. Những hoạt động của con người, ví dụ như sử dụng năng lượng hóa thạch, trồng cây, nuôi gia súc, và sản xuất nhiều loại sản phẩm khác nhau, hiện đang thải ra lượng khí đủ để làm tăng nồng độ khí lên mức cao hơn so với mức vốn được duy trì trong hàng trăm ngàn năm; mật độ khí tăng làm thay đổi cân bằng lượng bức xạ mặt trời vào và ra khỏi bầu khí quyển và, hệ quả là làm thay đổi thời tiết trên Trái đất.

Khí nhà kính trong bầu khí quyển cho phép bức xạ mặt trời có bước sóng ngắn vượt qua dễ dàng và tiếp xúc với bề mặt Trái đất, tuy vậy, một khi bức xạ bị hấp thụ bởi Trái đất và phát xạ lại với bước sóng dài hơn, khí nhà kính giữ nó lại và trở thành bẫy nhiệt trong khí quyển. Các loại khí nhà kính đã được biết đến, tính đến thời điểm hiện nay bao gồm cacbonic (CO₂), metan (CH₄), oxit nitơ (N₂O) và một số hợp chất nhất định của flo như chlorofluorocarbons (CFC), hydrochlorofluorocarbons (HCFC), hydrofluorocarbons (HFC), perchlorofluorocarbons (PFC), và sulfur hexafluoride (SF₆). Những loại khí này đã tồn tại trong khí quyển từ hàng chục tới hàng ngàn năm nay và thường bị hòa lẫn vào nhau, gây hiệu ứng nóng lên ở cấp độ toàn cầu. Hơn thế nữa, chính thời gian tồn tại lâu dài trong khí quyển cùng những tác động tích lũy của chúng cũng có tác động nghiêm trọng tới việc thực thi các chính sách ứng phó. Cũng vì những loại khí này tác động tới cân bằng bức xạ theo nhiều cách tương tự nhau nên việc so sánh tác động của chúng là hoàn toàn có thể thực hiện, sử dụng các phép đo độ cưỡng bức bức xạ (radiative forcing) hay Tiềm năng ấm lên toàn cầu (Global Warming potentials - GWP).

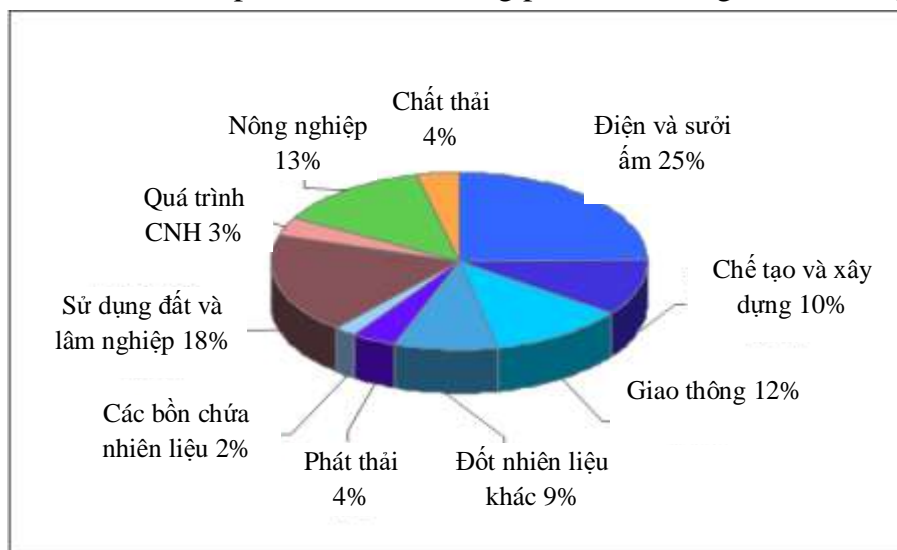
Những hoạt động sau của con người có tác động làm phát thải khí nhà kính:

1. Cacbonic (CO₂): đốt nhiên liệu hóa thạch, chất thải rắn, gỗ và các sản phẩm từ gỗ; sản xuất xi măng. Hoạt động của con người cũng có thể ảnh hưởng tới khả

năng hấp thụ CO₂ trong khí quyển của cây cối và đất (ví dụ phá rừng hoặc tái trồng rừng).

2. Metan: khai thác than, sản xuất khí đốt tự nhiên, phân hủy rác bằng cách vùi lấp trong đất, và khí thải tiêu hóa của động vật. Ngoài ra, đầm lầy và tổ mối cũng là những nguồn chứa khí tự nhiên đầy tiềm năng.
3. Oxit nitơ (N₂O): sử dụng phân đạm, sản xuất công nghiệp, đốt chất thải rắn và nhiên liệu hóa thạch.
4. Chlorofluorocarbons (CFC), hydrochlorofluorocarbons (HCFC), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), sulfur hexafluoride (SF₆): có trong các sản phẩm thương mại, sản phẩm công nghiệp và sản phẩm gia dụng.

Lượng phát thải khí ở mỗi khu vực kinh tế rất khác nhau, tùy theo từng loại khí. Hình 4 dưới đây cho thấy lượng CO₂ phát thải trong khu vực sản xuất nông nghiệp (không tính đến phát quang đất) rất thấp, tuy nhiên khoảng 62% lượng khí N₂O thải ra tính trên toàn cầu đều xuất phát từ việc sử dụng phân bón trong khu vực này.



Hình 1: Tỷ lệ phát xạ GHG toàn cầu theo các lĩnh vực vào năm 2000.

Tính riêng năm 2000, lượng CO₂ phát thải gây hiệu ứng nhà kính có nguyên nhân xuất phát từ hoạt động của con người chiếm 72%; CH₄ chiếm khoảng 18% và N₂O 9%. Những số liệu ước tính trước thời điểm này đều không đáng tin cậy, đặc biệt là trước những năm 1950. Mặc dù hầu hết các khí nhà kính phát thải tự nhiên đều đạt đến mức nhất định, nhưng do tác động từ sinh hoạt của con người đã làm cho tỷ lệ lượng phát thải đang ngày một cao hơn so với lượng khí tự tan trong khí quyển. Các nhà khoa học đều khẳng định rằng phát thải khí nhà kính do hoạt động của con người đã làm tăng mật độ khí trong tầng khí quyển, đạt mức cao nhất trong hàng trăm ngàn,

thậm chí hàng triệu năm nay. Trong vòng 150 năm gần đây, mật độ khí CO₂ trên toàn cầu đã tăng 1/3, từ 280 ppm lên mức hiện tại khoảng 380 ppm. Trong đó, khí metan tăng 150%, mặc dù tỷ lệ tăng khí này trong vài chục năm qua không đáng kể, tăng rất ít hoặc gần như không tăng trong những năm gần đây. Mật độ N₂O đã tăng 16% kể từ sau cách mạng công nghiệp.

Khí ozone tầng đối lưu. Ozone cũng là một loại khí gây hiệu ứng nhà kính nhưng không do con người trực tiếp phát thải. Mặc dù được phát thải tự nhiên nhưng ozone trong tầng đối lưu lại là kết quả của các loại khí thải ô nhiễm, ví dụ như các loại oxit nitơ từ quy trình đốt nhiên liệu, hoặc những hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) phát thải do rò rỉ nhiên liệu, bay hơi dung môi... Mật độ ozone trong tầng đối lưu, xét cả ở mức cơ bản lẫn mức cao, đang tăng dần và có thể đạt đến mức tăng 50% do các loại khí ô nhiễm liên tục thải vào bầu khí quyển kể từ cuộc Cách mạng công nghiệp. Khí ozone được hình thành và tan đi rất nhanh chóng, do vậy mật độ của loại khí này thường không phân bố đều trong không gian và theo thời gian; bên cạnh đó, rất khó để thực hiện so sánh giữa ozone trong tầng đối lưu với các loại khí nhà kính khác chỉ bằng cách thông qua chỉ số GWP.

Ô nhiễm ozone trong tầng đối lưu ở vùng Bắc cực là một trong những nguyên nhân chủ yếu dẫn tới hiện tượng nóng lên vào mùa xuân và mùa hè nơi đây. Do vậy, nhiều quốc gia đã thực hiện nhiều quy định về kiểm soát mật độ khí ozone bằng cách hạn chế phát thải khí gây ô nhiễm, trong đó điển hình là Đạo luật về không khí sạch (Clean Air Act) của Mỹ.

Hỗn hợp son khí cacbon và lưu huỳnh (Sulfur and Carbon Aerosols). Son khí (son khí) là những hạt nhỏ lơ lửng trong không khí, trong đó một số được sinh ra trong tự nhiên, ví dụ từ núi lửa phun trào hay cháy rừng, số khác lại là kết quả do tác động gây ô nhiễm của con người như khí thải nhà máy điện hoặc phương tiện giao thông. Những loại son khí chủ yếu đóng góp vào biến đổi khí hậu bao gồm khí sulfate, cacbon đen và cacbon hữu cơ. Hỗn hợp son khí có thể phân tán hoặc hấp thụ ánh sáng nhờ hiệu ứng làm lạnh hoặc làm nóng, tùy thuộc vào kích thước, màu sắc, thành phần, và một số đặc tính khác của hạt son khí. Hỗn hợp son khí cacbon đen là khí chủ yếu làm nóng bầu khí quyển; trong khi đó, hỗn hợp son khí cacbon hữu cơ (chủ yếu do cháy rừng tạo nên) lại thường gây hiệu ứng lạnh.

Hỗn hợp son khí lưu huỳnh (sulfates) làm phân tán luồng bức xạ mặt trời chiếu xuống mặt đất và do vậy, tạo nên hiệu ứng khí hậu lạnh. Điều này đã được biết đến từ vài thập kỷ nay nhưng lại mới chỉ được đưa vào mô hình khí hậu từ đầu những năm 90. Hỗn hợp son khí lưu huỳnh là sản phẩm phụ của thải khí lưu huỳnh từ quá trình đốt than và dầu, cũng như một số quy trình sản xuất công nghiệp khác. Lượng phát thải khí lưu huỳnh và những hỗn hợp son khí của nó đã tăng lên đáng kể trong thế kỷ 20 vừa qua.

Hỗn hợp son khí có tác động lên nhiệt độ cả về dài hạn hay ngắn hạn (do các hạt này có thể lơ lửng trong không khí trong thời gian từ vài ngày đến vài tuần). Mật độ son khí trong khí quyển thường biến động rất lớn, gây khó khăn cho việc tính toán, và do vậy rất khó xác định chính xác hỗn hợp gồm 1, 2 hay nhiều thành phần. Son khí cũng đồng thời tác động đến lượng mưa theo hướng phát thải của chúng, và ảnh hưởng đến chu trình nước gió mùa (monsoon water cycles). Những tác động của son khí có thể tăng hoặc giảm tùy theo lúc đó hỗn hợp có tiếp xúc với nhiệt độ bề mặt nước biển hay độ che phủ tuyết không. Vai trò của son khí trong nhiều khía cạnh khí hậu chủ đạo khác nhau là một trong những vấn đề bất ổn lớn cần được theo dõi, giám sát và nghiên cứu.

Khí phát thải từ máy bay. Lượng khí phát thải khi đốt nhiên liệu và lượng hơi nước thoát ra trong ống khí xả khi vận hành máy bay đều tham gia vào làm thay đổi khí hậu theo những phương thức đặc biệt. Trước tiên, những khí này được thải ra ở trên cao, nơi đã tồn tại sẵn một số khí nhà kính, và do nó không chong lập lên quang phổ hấp thụ của các khí khác, nên làm gia tăng thêm hiệu ứng làm thay đổi nhiệt độ bề mặt Trái đất trên toàn cầu. Những loại khí này còn ảnh hưởng tới sự phân bố nhiệt độ theo phương thẳng đứng trong khí quyển. Phức tạp hơn, việc phát thải nhiều hạt nhỏ và hơi nước vào không khí còn tạo thành các tinh thể băng trong vệt mây khi máy bay đang bay, từ đó càng tạo ra nhiều mây hơn nữa trong tầng đối lưu phía trên. Những đám mây này có thể gây hiệu ứng thời tiết lạnh hoặc nóng tùy vào đặc điểm của tinh thể băng; tuy nhiên đa số nhà khoa học đều tin rằng toàn bộ hiệu ứng khí hậu do vệt mây gây ra là hiệu ứng nóng. Hiện tượng này không diễn ra trên toàn cầu, do vậy thường chỉ có tác động lớn theo vùng.

Những thay đổi mặt đất. Sự thay đổi thường xuyên bề mặt tự nhiên của Trái đất là một phần của các quá trình phát triển hệ sinh thái, mặc dù vậy, con người cũng đóng góp một phần tác động lớn tới vỏ trái đất và việc sử dụng đất, từ đó dẫn đến biến đổi khí hậu. Một công trình nghiên cứu khoa học đã cung cấp một số bằng chứng cho thấy hoạt động phát quang rừng rậm và trồng lúa của con người, bắt đầu từ khoảng 8000 đến 5000 năm trước, có thể gây tác động nghiêm trọng tới nồng độ khí CO₂ và methane, ví dụ như sự cô lập cacbon từ việc tái trồng rừng sau khi con người rời bỏ trang trại trong thời kỳ Trung cổ do bệnh dịch hạch lan truyền.

Phát quang đất (land clearing). Khi con người tiến hành phát quang đất, như đã tiến hành tại Mỹ những năm đầu thế kỷ 20, CO₂ được giải phóng chủ yếu thông qua quá trình đốt hoặc phân hủy, khiến mật độ khí này trong bầu khí quyển cũng tăng lên. Khi thực vật phát triển trở lại, chúng giúp hấp thụ CO₂ trong không khí, nhưng cũng không thể theo kịp tốc độ phát thải. Nạn phá rừng tràn lan hiện đang diễn ra trên toàn cầu, chủ yếu là tại các quốc gia đang phát triển. Hoa Kỳ, cũng giống như những quốc

gia khác, đã phát quang nhiều diện tích đất từ nhiều thập kỷ trước, nhưng sau đó lại bỏ không một phần do quá trình công nghiệp hóa và tình trạng di dân đến những vùng đất màu mỡ hơn; rừng tái mọc lại trên những diện tích đất bỏ hoang đó, điều này về giá trị thực được coi là giúp loại bỏ CO₂ trong bầu khí quyển. Nói cách khác, toàn bộ diện tích đất rừng tại Mỹ cuối cùng lại trở thành một vũng chứa cacbon, không phải là một nguồn gây phát thải của khoảng 780 triệu tấn CO₂ mỗi năm như trong thời điểm hiện tại. Diện tích đất nông nghiệp hiện nay chiếm khoảng 1/3 diện tích bề mặt Trái đất. Nông nghiệp cũng có thể làm thay đổi quá trình bay hơi và thoát hơi nước của cây cối trên mặt đất, và do đó cũng dẫn đến biến đổi khí hậu từ cấp độ địa phương đến cấp độ vùng, và thông qua lưu thông trong bầu khí quyển, có thể lan ra trên cấp độ toàn cầu.

Phản hồi ngược từ độ che phủ đất. Sự thay đổi ở độ che phủ đất cũng có thể là hệ quả của biến đổi khí hậu, và vì vậy nó có thể là một phản hồi ngược bên trong hệ thống khí hậu. Một mặt, CO₂ trong khí quyển là chất nuôi dưỡng hiệu quả cho cây cối, và nguồn khí cacbon này sẽ giúp cây tăng trưởng tốt hơn, từ đó hấp thu được nhiều CO₂ hơn trong không khí. Ở những nơi có lượng mưa tăng lên, và những vùng hiện đang lạnh trở nên ấm hơn, thảm thực vật được cho là sẽ phát triển phong phú hơn, điều này gây một tác động ngược bất lợi đến sự nóng lên toàn cầu. Trong trường hợp những loại cây leo và cỏ dại có thể sinh trưởng tốt trong môi trường nhiều khí CO₂ và nhiệt độ cao hơn nhiệt độ thích hợp cho cây gỗ phát triển thì khả năng tăng cường hấp thu cacbon sẽ bị giảm đi ít nhiều. Hơn nữa, nhiệt độ cao hơn đi cùng độ ẩm lớn hơn sẽ đẩy nhanh quá trình phân hủy, thậm chí còn dẫn đến chết cây hàng loạt do sâu bọ ăn mầm phát triển nhanh, kéo theo hệ quả nóng trên toàn cầu. Bên cạnh đó, cây cối và những loài thực vật khác còn có hoạt động thoát hơi nước - cũng là một loại khí nhà kính - vào bầu khí quyển. Ngoài ra, sự che phủ đất có thể giúp làm thay đổi lượng bụi bị cuốn theo gió vào tầng khí quyển.

Suất phản chiếu (Albedo). Mức độ phản chiếu ánh sáng mặt trời của bề mặt trái đất được gọi là suất phản chiếu (albedo). Nơi nào trên bề mặt trái đất có albedo thấp (độ phản chiếu kém) thì tại nơi đó, bức xạ mặt trời bị hấp thu và làm nóng bề mặt. Các hạt lắng đọng trên mặt băng hoặc tuyết (ví dụ như do ô nhiễm) có thể làm tối bề mặt khiến tốc độ băng tan nhanh hơn. Ở những nơi có băng, tuyết bao phủ, mặt đất thường có độ phản chiếu albedo rất cao; khi diện tích băng tuyết phủ giảm đi do khí hậu nóng lên thì độ phản chiếu này cũng giảm và gây tác động tăng cường ngược lại đối với khí hậu, khiến tình trạng nóng lên càng trở nên trầm trọng. Diện tích đất đã phát quang cây cối có thể phản chiếu ánh sáng tốt hơn do các loại cây lá thẫm trước đó làm tối những vùng này, độ phản chiếu năng lượng mặt trời tăng tạo ra hiệu ứng làm mát. Khi tuyết rơi xuống mặt đất, việc dọn sạch cây cối có thể tạo ra hiệu ứng albedo làm mát rất mạnh, nhưng chủ yếu chỉ xảy ra vào mùa đông hoặc ở những khu vực thường xuyên bị

băng tuyết bao phủ. Như vậy, phát quang đất sẽ làm nhiệt độ tăng ở khu vực gần xích đạo và giảm ở những nơi có vĩ độ cao.

3. Dự báo xu hướng biến đổi khí hậu tương lai và tác động của nó

Phần lớn các ý kiến tranh luận về xu hướng biến đổi khí hậu trong tương lai được dựa trên những dự đoán theo các mô hình máy tính, trong đó tập hợp toàn bộ những yếu tố liên quan hiện được cho là có tác động tới khí hậu (bao gồm cả những hiệu ứng khí hậu đã xảy ra trước đó). Những mô hình này vẫn chưa hoàn thiện do kiến thức hiểu biết khoa học về những yếu tố và quá trình liên quan vẫn đang phát triển không ngừng. Tuy vậy, các mô hình khí hậu đã được cải thiện đáng kể trong một thập kỷ qua, các chuyên gia tin rằng nhiều mô hình hiện nay có thể thể hiện chính xác cả những hoạt động khí tượng hiện tại và trong quá khứ.

Đa số các nghiên cứu đều cho thấy, và các chuyên gia cũng đồng tình rằng, nếu đến cuối thế kỷ 21 khí nhà kính vẫn tiếp tục tăng lên thì mức nhiệt trung bình toàn cầu cũng sẽ tăng, cao hơn nền nhiệt tự nhiên ít nhất là 1,5°C (tương đương 2,7°F), và khoảng 10% khả năng sẽ cao hơn 5°C (tương đương 9°F), mặc dù một số nhà khoa học đã nhận định rằng mức nhiệt này sẽ còn lên cao hơn. Theo nhận định của nhiều nhà mô hình khí hậu, từ nay đến năm 2100, nền nhiệt trung bình sẽ tăng khoảng 2,5 - 3,5°C do khí nhà kính. Sẽ mất nhiều năm cho tới hàng thập kỷ để hạn chế hàng loạt những bất ổn do nền nhiệt trung bình toàn cầu tăng gây nên.

Nhìn chung, theo dự báo từ các mô hình khí hậu, sẽ có nhiều đợt nóng, hạn hán và lũ lụt hơn; những đợt lạnh cùng cực có xu hướng giảm; trung tâm các lục địa sẽ trải qua những mùa hè nóng và khô hơn. Nếu điều này xảy ra thì theo đánh giá của các nhà khoa học, lượng mưa sẽ tăng lên (lưu lượng dòng chảy vì vậy cũng tăng, dẫn đến nguy cơ lũ lụt lớn). Tuy nhiên, để thực hiện hàng loạt thay đổi có thể trong chu trình thủy văn - hay thậm chí việc chỉ ra định hướng thay đổi cho một số vùng - là điều vô cùng khó khăn bởi vì những quan sát lịch sử vẫn còn quá ít để tạo nên sự thấu hiểu khoa học, và còn do những mối liên kết tự nhiên còn yếu hơn. Các nhà khoa học nhận định rằng khí quyển và dòng hải lưu cũng sẽ bị thay đổi rất nhiều.

Một số nghiên cứu cho thấy xu hướng biến đổi khí hậu tương lai sẽ không diễn ra đồng đều trên phạm vi địa lý hay thời gian: ngay cả khi nhiệt độ trung bình toàn cầu có biến động rất ít thì những thay đổi về thời tiết theo vùng vẫn có thể diễn ra mạnh mẽ do có sự tác động không lường trước được từ những yếu tố khác nhau và từ sự kết nối giữa các vùng miền bên trong hệ thống khí hậu. Mặc dù hầu như toàn bộ các khu vực đều được đánh giá là sẽ ấm lên, vẫn có một số khu vực được dự báo là trở nên ẩm ướt hơn trong khi một số nơi khác lại khô hạn hơn.

Xu hướng biến đổi khí hậu tương lai có khả năng không diễn ra một cách từ từ, nhẹ nhàng theo như kết quả dự báo từ các mô hình, mà sẽ biến động lên, xuống quanh một

ngưỡng tăng trung bình như đã từng xảy ra trong quá khứ. Khoảng biến động này có thể ảnh hưởng tới công tác thăm dò và dự báo những thay đổi về thời tiết. Mặc dù khả năng nắm bắt tri thức của các nhà khoa học và những thay đổi về mô hình thời tiết ngày một nâng cao hơn, vẫn sẽ luôn có những vấn đề lớn trong công tác dự báo về những biến đổi khí hậu trong vùng và theo mùa trong bối cảnh nóng lên toàn cầu hiện nay. Việc lập mô hình hóa khí hậu vẫn chưa làm tốt được nhiệm vụ thu thập dữ liệu về những sự kiện thời tiết cực đoan hay những thay đổi đột ngột, do vậy luôn tồn tại những diễn biến thời tiết “bất ngờ” và quan trọng mà những mô hình này không thể dự đoán trước được. Hiện vẫn chưa xác định được những biến đổi nghiêm trọng trong tương lai diễn ra theo chiều hướng nào và tạo ra những biến động thời tiết nào để con người và cả hệ sinh thái có thể kịp thời sẵn sàng ứng phó.

Một vấn đề khác nảy sinh khi khí hậu thay đổi chính là những tác động ngược (feedback) - dù là tích cực hay tiêu cực. Một báo cáo của Hội đồng nghiên cứu quốc gia Hoa Kỳ đã chỉ ra rằng những tác động ngược trong hệ thống khí hậu, xảy ra nhiều lần trong lịch sử ngành địa chất, đã làm khuếch đại những biến cố thời tiết nhỏ nhất lên thành những chu kỳ lớn với độ biến động nhiệt độ trung bình toàn cầu lên tới 5 - 6°C. Mối liên quan chặt chẽ qua hàng trăm ngàn năm giữa khoảng biến động nhiệt độ trong quá khứ với mật độ các khí CO₂ và metan trong khí quyển là một minh chứng rõ rệt cho thấy sự thay đổi về nhiệt độ sẽ càng làm tăng thêm mức độ ảnh hưởng của những tác động trên thông qua chu kỳ biến đổi cacbon và những tác động ngược của hơi nước. Những mô hình khí hậu hiện nay cũng có dự báo về kiểu tác động phản hồi này, nhưng độ chính xác không cao. Những tác động phản hồi lớn nhất và bất ngờ nhất có ảnh hưởng tới dự báo xu hướng khí hậu tương lai bao gồm tác động phản hồi của hơi nước, tác động của mây, của thực vật, và của hiệu ứng albedo.

Như vậy, hầu hết các nhà khoa học khí tượng thủy văn đều nhất trí cho rằng những biến đổi khí hậu trong tương lai do tác động của khí nhà kính, thay đổi trong việc sử dụng đất và do những yếu tố tự nhiên khác, là hoàn toàn có thể xảy ra, nhưng cường độ, tốc độ nhanh hay chậm, và cả chi tiết về những thay đổi này trong nhiều năm hay thậm chí vài thập kỷ tới vẫn chưa được xác định rõ ràng. Tuy nhiên ở đây có một sự thống nhất giữa các dự báo của mô hình khí hậu, đó là: (1) Lượng phát thải do con người tạo ra trong quá khứ đã gây nên sự thay đổi khí hậu trong vài thập kỷ tiếp theo, và lượng khí nhà kính phát thải từ nay trở đi sẽ chi phối chủ yếu sự ấm lên toàn cầu vào giữa thế kỷ 21, và (2) Những tác động phản hồi đến chu trình cacbon có xu hướng làm tăng rõ rệt sự ấm lên ban đầu bởi khí nhà kính. Yếu tố này còn cho thấy biến đổi khí hậu có thể làm giảm hiệu quả hấp thu cacbon của đại dương và thực vật, và hiện tượng càng ấm lên càng đòi hỏi phải giảm phát xạ khí nhà kính nhiều hơn để giữ cân bằng cho hệ thống khí hậu.

Tác động của biến đổi khí hậu theo dự báo

Dự kiến những tác động của biến đổi khí hậu trong tương lai cho thấy giữa các vùng, ngành và nhóm thu nhập, sẽ có người bị ảnh hưởng và có người không. Một số nhóm có thể được lợi từ những tác động biến đổi khí hậu nhất định, trong khi nhóm khác phải chịu rủi ro. Những khu vực có lợi nhuận tương đối cao cũng phải chịu ảnh hưởng tiêu cực do biến đổi khí hậu ở những nơi khác liên quan đến những vấn đề về thương mại, an ninh, nhân đạo và nhập cư. Các thế hệ đi sau có thể sẽ phải gánh chịu nhiều tác động hơn nữa, nhưng họ lại có nhiều của cải hơn, và do vậy có thể đương đầu tốt hơn với biến đổi khí hậu, mặc dù điều đó cũng sẽ diễn ra không đồng đều. Nhiều loài trên trái đất có khả năng sẽ tuyệt chủng; ngược lại, một số loài khác sẽ phát triển tốt hơn. Tác động địa phương do biến đổi khí hậu sẽ ảnh hưởng tới việc ra quyết định nhiều hơn so với tập hợp chung quốc gia và toàn cầu.

Đối với ngành nông nghiệp, đa số các mô hình đều dự đoán những lợi ích tổng thể trong vòng vài thập kỷ tiếp theo, chủ yếu là sự màu mỡ gia tăng do CO₂ trong khí quyển, mặc dù một số vùng và một số cộng đồng dân cư nhỏ có thể phải chịu tác động tiêu cực. Khi xảy ra biến đổi khí hậu - theo dự báo của một số mô hình thì nhiệt độ sẽ nóng hơn 2 - 4°C so với năm 1990 - ảnh hưởng của nó đến cây trồng ở hầu hết các vùng sẽ trở thành tiêu cực, trừ những nơi có vĩ độ cao. Châu Phi là khu vực phải chịu nhiều tác động và cần được quan tâm đặc biệt. Không nên dựa vào những nghiên cứu hiện nay về tác hại của biến đổi khí hậu đối với nông nghiệp để đánh giá kết luận. Một số nghiên cứu về nông nghiệp đã đưa ra dẫn chứng về tác động của biến đổi khí hậu, hay bệnh dịch, sâu hại lan tràn, đối với những loài cỏ dại nhờ thời tiết nóng lên và mật độ CO₂ tăng mà phát triển tốt hơn. Rất ít nghiên cứu thực hiện trên đối tượng là những nguồn thực phẩm quan trọng khác như rau, quả, chăn nuôi, thủy sản, và cây lấy dầu, hiện đang là nhóm thực phẩm có thị phần phát triển nhanh nhất trong ngành. Các sản phẩm công nghệ sinh học và cây trồng biến đổi gen chỉ đóng vai trò một phần trong nghiên cứu về những tác động, ảnh hưởng đối với nông nghiệp. Các chuyên gia tin rằng những tác động này sẽ tùy thuộc vào sự du nhập những mặt hàng sản phẩm nông nghiệp mới đến những vùng được lợi từ biến đổi khí hậu, trong đó có sự thay đổi về giá trị đất và cơ cấu lực lượng lao động.

Biến đổi khí hậu và sự màu mỡ của thực vật nhờ mức CO₂ cao hơn trong khí quyển được dự báo là sẽ ảnh hưởng cả tích cực lẫn tiêu cực tới các cánh rừng. Tuy nhiên, khi các loài đạt đến sức chịu nhiệt cao hơn, thì tình trạng căng thẳng hay tính nhạy cảm với bệnh dịch, sâu hại và hạn hán, có khả năng dẫn đến sự chết dần chết mòn như tình trạng đang diễn ra ở một số cánh rừng thuộc miền tây nước Mỹ và Canada. Nếu cây rừng và thảm thực vật có khả năng di trú hoặc trải rộng kết hợp với sự biến đổi khí hậu theo dự kiến thì thành phần của lớp che phủ mặt đất sẽ có khả năng bị thay đổi, kéo

theo nhiều hậu quả nghiêm trọng đối với các ngành nông nghiệp, kinh tế, văn hóa, và sinh thái.

Một nguy cơ xuất hiện trong một số dự báo mô hình khí hậu là khả năng xảy ra nạn sâu bệnh ăn chồi khiến cây chết hàng loạt trong khu vực rừng nhiệt đới Amazone, kéo theo đó là chu kỳ khô hạn nặng dài hơn và nạn sâu bệnh ăn chồi cũng nghiêm trọng hơn. Điều này có thể là nguyên nhân dẫn đến gia tăng khí nhà kính gây biến đổi khí hậu, cũng như biến đổi về sinh thái.

Các mô hình đều đưa ra dự báo về sự thu hẹp diện tích băng ở biển Bắc cực, từ mức rất nhỏ lên mức lớn hơn, tạo thành những tảng băng trôi tự do vào mùa hè từ nay cho đến cuối thế kỷ, thậm chí có thể sớm hơn. Băng trên biển Bắc cực tan chảy là hậu quả của biến đổi khí hậu toàn cầu, gây nhiều tác động sinh thái đối với các loài động vật như gấu trắng, hải cẩu, các loài chim sinh sống tại Bắc cực cũng như các loài sinh vật biển, và đối với con người, trong đó bao gồm cả các hệ thống văn hóa bản địa và sinh kế, các vấn đề về an ninh và chủ quyền quốc gia.

Nghiên cứu mới đây về hiện tượng tan băng tảng và sự tích tụ băng và tuyết những tầm cao hơn của tảng băng đã khiến các nhà khoa học phần nào mất niềm tin vào các kết quả dự báo và những tác động tới mực nước biển dâng lên trong vài thế kỷ tới. Trong khi hầu hết các mô hình khí hậu toàn cầu đều dự báo rằng sự dâng lên ở mực nước biển sẽ thấp hơn với sự ấm lên trong tương lai, tuy nhiên một số nhà khoa học lại khẳng định rằng điều này hoàn toàn trái với bằng chứng gần đây ở một số khu vực có băng tan xảy ra nhanh hơn so với dự báo. Hiện trạng này cho thấy sự hiểu biết về động lực học các tảng băng còn yếu kém và đó là một điều không chắc chắn lớn về khả năng dâng lên của mực nước biển trong tương lai.

Theo nhận định của các nhà khoa học, một phần lớn diện tích san hô che phủ ở những bãi đá ngầm trên toàn thế giới đang bị mất đi do những tác động kết hợp của tần suất nhiệt độ cao lớn hơn và độ axit trong đại dương cũng cao hơn do nồng độ CO₂ tăng lên. Diện tích san hô giảm có thể làm ảnh hưởng tới chuỗi thức ăn, dẫn đến thiệt hại kinh tế cho ngành ngư nghiệp và đối với công tác đảm bảo an ninh lương thực của con người ở nhiều nơi trên thế giới.

Các mô hình khí hậu cho thấy những khu vực phía Bắc Hoa Kỳ, Canada, và hầu hết các nước châu Âu sẽ phải trải qua nhiều đợt mưa lớn (hơn 10 mm/0,4 inch) tính đến cuối thế kỷ 21, trong đó một số nơi có thể được lợi từ lượng mưa lớn này. Ngoài ra, khả năng mưa nhiều hơn tuyết, và tuyết có thể sẽ tan sớm hơn. Ở một số vùng và hệ sinh thái, những thay đổi đó dường như là chắc chắn. Nhiều nhà khoa học đã kết luận rằng bão nhiệt đới sẽ ngày càng diễn ra với cường độ mạnh hơn nếu thời tiết tiếp tục nóng lên.

Thay đổi khí hậu còn gây những hậu quả bổ sung đến các hệ sinh thái. Sự tái cấu trúc đặc trưng của các hệ sinh thái, và những tác động đến các quần thể, các loài, cảnh

quan đặc biệt và các dịch vụ sinh thái đối với con người đang nằm ngoài những dự báo tin cậy, do hoạt động nghiên cứu, giám sát còn tương đối ít và hiện trạng còn thô sơ của các mô hình liên quan đến sự hiểu biết về các quy trình này. Những tác động này được dự báo là có tính đặc trưng địa phương lớn, mặc dù một số trong đó có thể sẽ ảnh hưởng lan rộng và dẫn đến thay đổi về chuỗi thức ăn, dòng chất dinh dưỡng, bầu khí quyển và dòng hải lưu... ở những nơi khác. Một số quần thể thực vật và loài còn phát triển tốt hơn trong môi trường ẩm ướt và nhiệt độ cao. Một số khác có thể thích nghi và/hoặc di trú sang địa điểm khác có môi trường sống dễ chịu hơn. Một số lại bị ảnh hưởng bởi những cản trở hoặc sự lồi lõm trên con đường mà chúng di cư qua, hoặc do tỷ lệ di trú thấp hơn so với sự di chuyển của quần xã sinh vật, bị gián đoạn chuỗi thức ăn hoặc phụ thuộc chặt chẽ vào những loài khác, và tính cạnh tranh cao. Nhiều nhà sinh thái học dự đoán tỷ lệ tuyệt chủng và tổn thất đa dạng sinh học là rất cao nếu những dự đoán về biến đổi là chính xác.

Biến đổi khí hậu cũng có tác động tốt và xấu đến sức khỏe con người. Các nhà khoa học vẫn chưa chắc chắn tại điểm nào thì những tác động căng thẳng (stress) do nhiệt sẽ vượt quá những lợi ích về stress khi trời lạnh; điểm đổi chiều này sẽ càng đến sớm khi sự gia tăng nhiệt độ càng nhanh, và các biện pháp phòng ngừa kém hiệu quả và phản ứng thích nghi càng chậm hơn. Một số tác động bất lợi khác của thời tiết đến sức khỏe có thể ngày một gia tăng nhiều hơn gồm các bệnh liên quan đến thực phẩm và các vật chủ trung gian (vector-borne diseases). Thời tiết nóng hơn sẽ làm tăng mức độ ô nhiễm không khí đồng thời thúc đẩy nấm mốc và những tác nhân gây dị ứng khác phát triển. Khi tính đến tỷ lệ tử vong thì, khả năng lây lan dịch sốt rét là ảnh hưởng lớn nhất đến sức khỏe con người đã được nghiên cứu, mặc dù căn bệnh này hoàn toàn có thể kiểm soát được khi thu nhập tăng, cho phép cải thiện hệ thống y tế công cộng, cải thiện môi trường và sử dụng thuốc trừ sâu và các loại vaccin phòng bệnh.

II. CÁC LĨNH VỰC HOẠT ĐỘNG CON NGƯỜI GÂY RA PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH

1. Các xu thế phát thải khí nhà kính quá khứ, hiện tại và tương lai

Phát thải khí nhà kính là đối tượng kiểm soát theo Nghị định thư Kyoto đã tăng khoảng 70% trong giai đoạn từ 1970- 2004 (tăng 24% từ 1990-2004), trong đó CO₂ là nguồn phát thải lớn nhất, tăng 80%. Phát thải CO₂ tăng lớn nhất từ khu vực sản xuất điện và vận chuyển đường bộ. Phát thải khí metan (CH₄) tăng 40% từ năm 1970, trong đó 85% lượng gia tăng là từ việc đốt và sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, nông nghiệp là nguồn tăng phát thải CH₄ lớn nhất. Phát thải N₂O tăng 50% chủ yếu do tăng sử dụng phân bón và sự tăng trưởng của nông nghiệp. Phát thải N₂O của lĩnh vực công nghiệp giảm trong suốt giai đoạn này.

Sự phát thải các chất gây suy giảm tầng ozone (ODS) được điều chỉnh theo Nghị định thư Montreal (gồm khí nhà kính, cloroflorocacbon (CFC), hydrocloroflorocacbon (HCFC)) tăng từ nồng độ thấp vào năm 1970 lên tới 7,5 GtCO₂-eq¹ vào năm 1990 (bằng khoảng 20% tổng lượng phát thải khí nhà kính), nhưng sau đó đã giảm xuống còn 1,5 GtCO₂-eq vào năm 2004, và được dự tính sẽ giảm hơn nữa do sự hủy bỏ từng bước CFC ở các nước đang phát triển. Phát thải khí flo hóa (F-gases) (HFC, perfluorocacbon PFC và SF₆) được điều chỉnh theo Nghị định thư Kyoto tăng nhanh chóng (chủ yếu là HFCs) trong suốt những năm 1990, những chất này đã thay thế các chất ODS với một mức độ đáng kể và được ước tính ở ngưỡng tương đương 0,5 GtCO₂-eq vào năm 2004 chiếm khoảng 1,1% tổng phát thải tính theo phép đo Tiềm năng ấm lên toàn cầu trong 100 năm (100-year global warming potential - GWP basis).

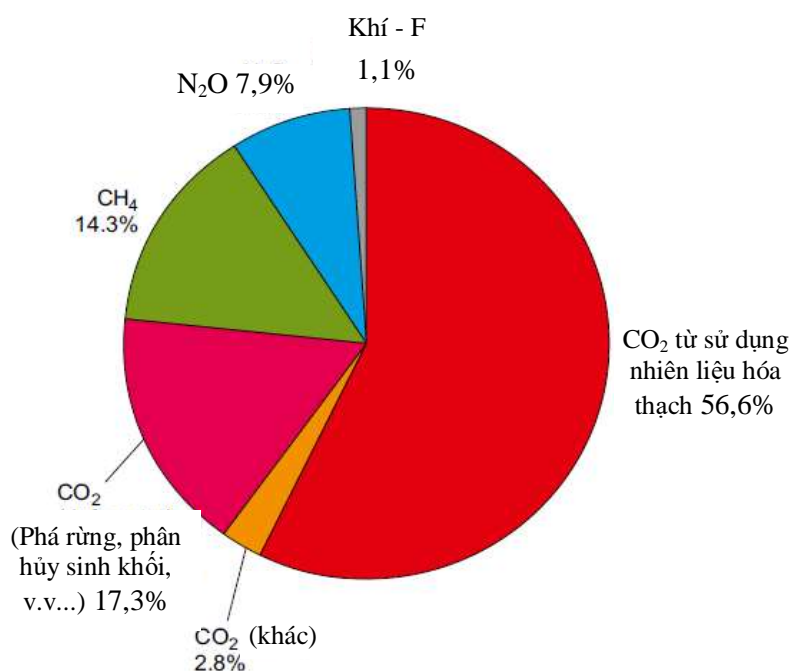
Nồng độ CO₂ trong không khí đã tăng gần 100 ppm² từ mức tiền công nghiệp, lên tới 379 ppm vào năm 2005, với tốc độ tăng trung bình hàng năm trong thời kỳ 2000-2005 cao hơn tốc độ tăng trung bình những năm 1990. Tổng nồng độ tương đương của khí nhà kính tồn tại lâu dài trong khí quyển hiện tại là 455 ppm CO₂ tương đương. Kết hợp hiệu ứng làm mát của các sol khí, các khí và chất gây ô nhiễm không khí được thải ra do thay đổi trong sử dụng đất được tính theo nồng độ tương đương cho kết quả là 311-435 ppm CO₂.

Ước tính về phát thải sol khí liên quan tới hoạt động của con người vẫn còn không chắc chắn. Sự phát thải lưu huỳnh toàn cầu đã giảm từ 75±10 MtS (Megatonnes of sulfur - triệu tấn lưu huỳnh) vào năm 1990 xuống 55-62 Mts vào năm 2000. Số liệu về các sol khí không chứa lưu huỳnh còn ít và có tính suy đoán cao.

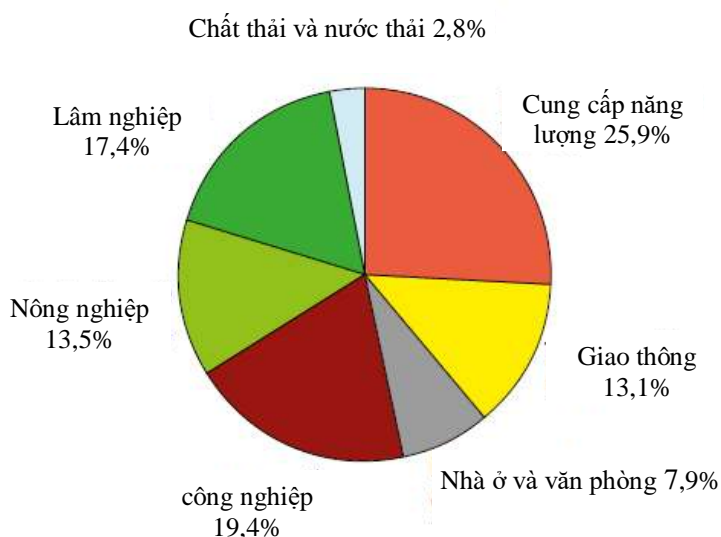
¹ GtCO₂-eq: Gigatonnes carbon dioxide-equivalent (chuyển đổi tương đương giga tấn CO₂) - là đơn vị đo nồng độ khí nhà kính tính theo giá trị tương đương với nồng độ CO₂. (1 gigatone bằng 10⁹ tấn)

² Ppm là đơn vị nồng độ theo khối lượng, ppm là một phần trong 1 triệu (part per million).

Năm 2004, cung ứng năng lượng chiếm khoảng 26% phát thải khí nhà kính, khu vực công nghiệp chiếm 19%, khí thải từ sử dụng đất và rừng là 17%, nông nghiệp 14%, giao thông 13%, khu vực dân cư, thương mại và dịch vụ chiếm 8%, và rác thải chiếm 3%. Các số liệu này mang tính minh họa, vẫn còn tồn tại những số liệu chưa chắc chắn, đặc biệt là liên quan tới phát thải CH₄ và N₂O (dung sai ước tính có thể lên tới 30-50%) và phát thải CO₂ từ nông và lâm nghiệp có dung sai còn cao hơn.



Hình 2: Phát thải khí nhà kính do tác động của con người trên toàn cầu năm 2004



Hình 3: Phát thải khí nhà kính theo các lĩnh vực năm 2004

Ghi chú:

- 1) Cung ứng năng lượng: không bao gồm các nhà máy lọc dầu, luyện than..., do đã được bao gồm trong khu vực công nghiệp
- 2) Giao thông vận tải: bao gồm cả vận chuyển quốc tế, không kể nghề cá, máy móc và phương tiện phục vụ nông và lâm nghiệp.
- 3) Bao gồm cả sử dụng sinh khối truyền thống.
- 4) Bao gồm cả nghề cá, luyện than...
- 5) Bao gồm cả đốt phế thải nông nghiệp và đốt cháy rừng xavan (không CO₂).
- 6) Dữ liệu bao gồm cả phát thải CO₂ từ phát quang rừng, phát thải CO₂ từ phân hủy sinh khối bề mặt, và CO₂ từ đốt và phân hủy đất than bùn khô.
- 7) Bao gồm CH₄ từ rác thải, nước thải, N₂O và CO₂ từ việc đốt rác thải (chỉ cacbon hóa thạch).

Năm 2004, các quốc gia thuộc nhóm Annex I³ chiếm 20% dân số thế giới, nhưng đóng góp 46% phát thải khí nhà kính toàn cầu, và 80% dân số thế giới còn lại thuộc các nước nằm ngoài Annex I chỉ chiếm 54%. Sự tương phản giữa vùng có tỷ lệ phát thải khí nhà kính/người cao nhất (Bắc Mỹ) với vùng có tỷ lệ phát thải khí nhà kính/người thấp nhất (khu vực Nam Á) thậm chí còn rõ rệt hơn nữa: 5% dân số thế giới (Bắc Mỹ) phát thải 19,4%, trong khi 30,3% dân số (Nam Á) chiếm lượng phát thải 13,1%. Một bức tranh khác biệt nổi lên nếu tính lượng phát thải khí nhà kính theo hệ mét trên mỗi đơn vị giá trị GDP sức mua tương đương (GDP ppp). Theo chỉ số này, các quốc gia thuộc nhóm Annex I đã tạo ra 57% tổng sản lượng thế giới với mức độ sản sinh khí nhà kính là 0,68 kg CO₂ tương đương/1 USD GDP ppp, trong khi các quốc gia không thuộc nhóm Annex I đạt 1,06 kg CO₂ tương đương/1 USD GDP ppp.

Cung ứng và sử dụng năng lượng toàn cầu - nguồn phát thải khí nhà kính chủ yếu - được dự báo sẽ tiếp tục tăng, đặc biệt là khi các nước đang phát triển tiếp tục theo đuổi quá trình công nghiệp hóa. Nếu các chính sách năng lượng vẫn không thay đổi, hỗn hợp năng lượng cung ứng để vận hành nền kinh tế toàn cầu trong khoảng thời gian từ 2025 - 30 về cơ bản sẽ không thay đổi, với hơn 80% nguồn cung năng lượng là từ nhiên liệu hóa thạch gây các tác động hệ quả phát thải khí nhà kính. Theo phương thức này, phát thải CO₂ liên quan đến năng lượng vào năm 2030 ước tính sẽ cao hơn năm 2000 từ 40-110%, trong đó 2/3-3/4 lượng gia tăng này bắt nguồn từ các quốc gia không thuộc nhóm Annex I, mặc dù lượng phát thải bình quân đầu người ở các nước

³ Nhóm các nước Annex I thuộc Công ước khung của Liên hiệp quốc về biến đổi khí hậu - UNFCCC là các nước công nghiệp hóa và các nền kinh tế trong giai đoạn chuyển tiếp. Các nước Annex II là một nhóm dưới nhóm Annex I gồm các nước phát triển. Các nước nằm ngoài Annex I (Non Annex I countries) là các nước đang phát triển.

phát triển vẫn sẽ cao hơn đáng kể, 9,6-15,1 tấn CO₂/người ở các vùng thuộc Annex I so với 2,8-5,1 tấn CO₂/người ở các vùng không thuộc Annex I.

Đến năm 2030, tổng phát thải khí nhà kính (các loại khí được điều chỉnh theo Nghị định thư Kyoto) được dự đoán sẽ tăng một cách kiên định lên cao hơn từ 25- 90% so với năm 2000, các dự đoán gần đây còn cao hơn so với các dự đoán trước đó.

Đến năm 2100, phạm vi dự báo theo các kịch bản phát thải của Báo cáo do Ủy ban Liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) soạn thảo: từ ngưỡng giảm 40% tới ngưỡng tăng 250% so với năm 2000 sẽ vẫn có hiệu lực. Các dự báo gần đây có xu hướng cao hơn: tăng 90% đến 250% so với năm 2000. Các kịch bản về các chính sách khí hậu, mà việc thực hiện chúng hiện đang được thảo luận, cũng cho thấy phát thải toàn cầu sẽ tăng trong nhiều thập kỷ.

Các quốc gia đang phát triển (như Braxin, Trung Quốc, Ấn Độ, Meehicô) đã thực hiện các nỗ lực, vì các lý do khác ngoài sự biến đổi khí hậu, đã làm giảm được sự gia tăng phát thải trong vòng 3 thập kỷ qua khoảng 500 triệu tấn CO₂/năm, con số này lớn hơn số lượng suy giảm yêu cầu đối với các quốc gia thuộc nhóm Annex I theo Nghị định thư Kyoto. Nhiều nỗ lực có động cơ xuất phát từ phát triển kinh tế, giảm đói nghèo, an ninh năng lượng và bảo vệ môi trường địa phương. Vì vậy, cách tiếp cận chính sách triển vọng nhất dường như là cách có thể tận dụng được những phối hợp tự nhiên giữa bảo toàn khí hậu và các ưu tiên phát triển để có thể xúc tiến cùng một lúc cả hai phương diện.

2. Các lĩnh vực hoạt động của con người dẫn đến phát thải khí nhà kính

2.1. Cung ứng năng lượng

Tình trạng của lĩnh vực này và sự phát triển tới năm 2030

Cầu năng lượng toàn cầu tiếp tục tăng, nhưng có những khác biệt theo khu vực. Tăng trưởng trung bình hàng năm của tiêu thụ năng lượng toàn cầu là 1,4%/năm trong giai đoạn 1990-2004. Tỷ lệ này thấp hơn so với hai thập niên trước đó do sự chuyển đổi kinh tế ở Đông Âu, Capca và Trung Á, nhưng tiêu thụ năng lượng ở khu vực này hiện lại tăng trở lại. Mức tăng nhanh chóng của tiêu thụ năng lượng/đầu người hiện đang diễn ra ở rất nhiều nước đang phát triển. Châu Phi là một khu vực với tỷ lệ tiêu thụ theo đầu người thấp nhất. Giá của dầu mỏ và khí đốt ngày càng tăng đang tác động xấu tới việc tiếp cận năng lượng, sự bình đẳng và phát triển bền vững của những nước nghèo nhất và làm cản trở công cuộc giảm nghèo và những mục tiêu được đề ra để cải thiện việc tiếp cận nguồn điện, đun nấu theo kiểu hiện đại, nhiên liệu sưởi ấm và giao thông.

Tổng tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch đã tăng đều đặn trong suốt 3 thập niên vừa qua. Tiêu thụ năng lượng hạt nhân tiếp tục tăng, mặc dù ở tỷ lệ thấp hơn so với của thập

niên 80 của thế kỷ trước. Phần lớn năng lượng địa nhiệt và hydro là tương đối không biến động. Từ năm 1970-2004, tỷ lệ của nhiên liệu hóa thạch đã giảm từ 86% xuống 81%. Năng lượng gió và mặt trời đang tăng với tốc độ nhanh nhất, nhưng giá trị tuyệt đối rất nhỏ. Hầu hết các kịch bản theo kiểu "Business as usual" (BAU - mọi việc vẫn cứ tiếp diễn đều đặn) đều chỉ ra một mức tăng trưởng liên tục của dân số thế giới (mặc dù với các tỷ lệ thấp hơn so với các thập niên được dự đoán trước đây) và GDP, dẫn tới một mức tăng trưởng đáng kể của cầu năng lượng. Các tỷ lệ tăng trưởng của cầu năng lượng cao ở châu Á (3,2%/năm trong giai đoạn 1990-2004) được dự kiến sẽ tiếp tục diễn ra và sẽ được đáp ứng chủ yếu bởi nhiên liệu hóa thạch.

Sự khan hiếm của nhiên liệu hóa thạch ở cấp độ toàn cầu không phải là một yếu tố lớn để đánh giá việc giảm nhẹ biến đổi khí hậu. Sản xuất dầu mỏ thậm chí sẽ đạt đỉnh, nhưng nó sẽ không ổn định một cách chính xác về thời điểm và hậu quả sẽ là như thế nào. Năng lượng ở lĩnh vực khí tự nhiên thông thường dồi dào hơn là ở dầu mỏ, nhưng giống như dầu mỏ, lại không được phân bố đồng đều khắp toàn cầu. Trong tương lai, mất an ninh nguồn cung ứng dầu và khí đốt cho tiêu dùng ở các quốc gia sẽ có thể dẫn tới sự chuyển hướng sang than, năng lượng hạt nhân và/hoặc năng lượng tái tạo. Ngoài ra cũng có xu hướng hướng tới các phương tiện tải năng lượng thông dụng và hiệu quả hơn (như điện năng, nhiên liệu khí và hóa lỏng) thay cho nhiên liệu rắn.

Ở tất cả các khu vực trên thế giới, trọng tâm về an ninh nguồn cung đã tăng lên kể từ sau bản Báo cáo Đánh giá Thứ ba (TAR) của IPCC. Điều này đi đôi với giảm đầu tư vào hạ tầng, cầu toàn cầu tăng, bất ổn chính trị ở những vùng chủ chốt và các mối đe dọa về tranh chấp, khủng bố và các hiện tượng thời tiết khắc nghiệt. Đầu tư mới vào hạ tầng năng lượng ở các nước đang phát triển và nâng cao công suất ở các nước phát triển mở ra cơ hội để khai thác các cơ hội lợi ích đôi bên đối với hỗn hợp năng lượng nhằm làm giảm phát thải khí nhà kính từ mức cao có lẽ sẽ xảy ra.

Câu hỏi hóc búa đối với nhiều chính phủ hiện tại là làm cách nào để đáp ứng một cách tốt nhất nhu cầu đang ngày càng tăng về các dịch vụ năng lượng tin cậy, trong khi lại hạn chế được chi phí kinh tế đối với các thành phần cấu thành của chúng, đảm bảo được an ninh năng lượng, giảm sự phụ thuộc vào các nguồn năng lượng nhập khẩu và tối thiểu hóa phát thải khí nhà kính kèm theo và các chất ô nhiễm khác. Lựa chọn các hệ thống cung cấp năng lượng cho mỗi một vùng trên thế giới sẽ phụ thuộc vào sự phát triển của chính những vùng này, vào cơ sở hạ tầng có sẵn và chi phí cạnh tranh địa phương của các nguồn năng lượng có sẵn. Nếu giá nhiên liệu hóa thạch vẫn cao, thì cầu có thể giảm tạm thời cho tới khi các trữ lượng hydro cac-bon dưới dạng cát dầu, đá phiến dầu, than hóa lỏng, khí hóa lỏng, vv, có thể được thương mại hóa. Nếu việc này xảy ra, phát thải sẽ tăng cao hơn do nồng độ cacbon tăng cao, trừ khi có thể cô lập và tích trữ được cacbon điôxit (CCS). Do ngày càng có những mối quan ngại về

an ninh năng lượng và gần đây là những mối quan ngại về giá khí đốt, nên ngày càng xuất hiện mối quan tâm về các nhà máy điện mới, có hiệu quả hơn, chạy bằng than. Một vấn đề chủ chốt đối với tương lai của phát thải khí nhà kính là các nhà máy chạy bằng than có thể được trang bị bằng công nghệ CCS một cách nhanh chóng tới mức nào, công nghệ này làm tăng chi phí điện. Dù là xây dựng các nhà máy “sẵn sàng thu hồi khí các-bon” hiệu quả chi phí hơn là trang bị các nhà máy mới hay là xây dựng một nhà máy mới được tích hợp với CCS thì đều phải phụ thuộc vào các điều kiện kinh tế và kỹ thuật. Giá nhiên liệu hóa thạch cao liên tục cũng có thể kích thích sản xuất thêm nhiều năng lượng hạt nhân và/hoặc năng lượng tái tạo, mặc dù tính bất ổn của giá thành sẽ làm nản chí các nhà đầu tư. Những quan ngại về an toàn, phổ biến vũ khí hạt nhân và chất thải vẫn là những trở ngại đối với điện hạt nhân. Hydrogen cũng có thể góp phần là một chất mang năng lượng với phát thải cacbon thấp, phụ thuộc vào nguồn của hydrogen và mức hấp thu thành công của CCS đối với sản xuất hydrogen từ than hoặc khí. Năng lượng tái tạo phải hoặc được sử dụng với tinh thần phân phối hoặc cần được tập trung để đáp ứng được nhu cầu năng lượng cường độ cao của các thành phố và các ngành công nghiệp, bởi vì, không giống như các nguồn nhiên liệu hóa thạch, các nguồn năng lượng tái tạo được phân bố rộng rãi với mức năng suất năng lượng/điện tích khai thác thấp.

Nếu cầu năng lượng tiếp tục tăng trưởng theo quỹ đạo hiện tại, thì tới năm 2030 một hạ tầng được cải tiến và hệ thống chuyển hóa sẽ đòi hỏi một khoản đầu tư tích lũy tổng thể tới hơn 20 nghìn tỷ USD (20×10^{12} tính theo trị giá đồng đôla năm 2005). Để so sánh, tổng đầu tư vốn của ngành công nghiệp năng lượng toàn cầu hiện tại là khoảng 300 tỷ USD/năm (300×10^9).

2.2. Giao thông vận tải và cơ sở hạ tầng

Hoạt động giao thông đang phát triển mạnh trên khắp thế giới do các nền kinh tế đều tăng trưởng. Điều này đặc biệt đúng đối với nhiều khu vực đang phát triển trên thế giới nơi mà toàn cầu hóa đang mở rộng các luồng thương mại, và thu nhập của người dân tăng lên làm tăng nhu cầu về giao thông bằng động cơ. Hoạt động giao thông hiện tại chủ yếu bị tri phối bởi các động cơ đốt trong chạy bằng nhiên liệu xăng (chiếm 95% trong số 83 EJ (exajoule = 10^{18} joules) tổng năng lượng được sử dụng trong giao thông thế giới vào năm 2004). Hệ quả là, sử dụng xăng dầu theo sát với mức tăng trưởng của hoạt động giao thông. Vào năm 2004, năng lượng sử dụng cho giao thông chiếm tới 26% tổng sử dụng năng lượng thế giới. Ở các nước phát triển, sử dụng năng lượng cho giao thông tiếp tục tăng ở mức trên 1%/năm, giao thông vận chuyển khách hiện tiêu thụ 60-75% tổng năng lượng cho giao thông. Ở các nước đang phát triển, năng lượng sử dụng cho giao thông đang tăng nhanh hơn (3 tới 5%/năm) và được dự kiến tăng trưởng từ 31% vào năm 2002 lên 43% năng lượng sử dụng cho giao thông của thế giới vào năm 2025. Hoạt động giao thông được

đự kiến là tăng trưởng mạnh trong vài thập niên tới. Trừ khi có một sự chuyển hướng lớn khỏi các mô hình sử dụng năng lượng hiện tại, thì các dự đoán vẫn cho thấy một mức tăng trưởng liên tục ở năng lượng sử dụng cho giao thông của thế giới là 2%/năm, với năng lượng sử dụng và phát thải khí các-bon là 80% trên các mức của năm 2002 cho tới năm 2030. Ở các nền kinh tế phát triển, sở hữu phương tiện động cơ đang tiến tới mức 5 tới 8 xe ô tô trên 10 cư dân. Ở các nước đang phát triển, các mức sở hữu phương tiện giao thông thấp hơn nhiều, giao thông phi động cơ vẫn chiếm một vai trò quan trọng và phụ thuộc nhiều vào các phương tiện giao thông động cơ hai, ba bánh và giao thông công cộng. Tuy nhiên, động cơ hóa giao thông ở các nước đang phát triển được dự đoán là sẽ phát triển nhanh chóng trong những thập niên tới. Do thu nhập tăng và giá trị thời gian của người tham gia giao thông tăng lên, nên những người tham gia giao thông được kỳ vọng là sẽ lựa chọn những mô hình giao thông nhanh hơn, chuyển từ phi cơ giới hóa sang ô tô, sang máy bay và tàu hỏa cao tốc. Tốc độ tăng thông thường dẫn tới cường độ năng lượng lớn hơn và phát thải khí nhà kính cao hơn. Ngoài phát thải khí nhà kính, cơ giới hóa giao thông cũng tạo nên các vấn đề về tắc nghẽn và ô nhiễm môi trường ở các thành phố lớn trên khắp thế giới.

2.3. Các tòa nhà dân cư và thương mại

Năm 2004, phát thải khí nhà kính trực tiếp từ các tòa nhà (bao gồm các phát thải từ sử dụng điện) là khoảng 5 GtCO₂-eq/năm (3 GtCO₂-eq/năm đối với CO₂; 0,1 GtCO₂-eq/năm đối với N₂O; 0,4 GtCO₂-eq/năm CH₄ và 1,5 GtCO₂-eq/năm halocarbons). Con số cuối bao gồm các khí flo là đối tượng điều chỉnh trong Nghị định thư Montreal và khoảng 0,1-0,2 GtCO₂-eq/năm của khí HFCs. Do việc giảm nhẹ trong lĩnh vực này bao gồm rất nhiều biện pháp nhằm tiết kiệm điện, nên tiềm năng giảm nhẹ được tính toán một cách chung là bao gồm các biện pháp tiết kiệm điện. Để so sánh, các con số phát thải của các tòa nhà thường bao gồm các phát thải từ sử dụng điện trong khu vực này. Khi bao gồm các phát thải từ sử dụng điện, thì các phát thải CO₂ liên quan tới năng lượng từ khu vực tòa nhà là 8,6 Gt/năm, hay 33% của tổng toàn cầu trong năm 2004. Tổng phát thải khí nhà kính, gồm cả các phát thải từ sử dụng điện, vì thế được ước tính ở mức 10,6 GtCO₂-eq/năm.

Các phát thải khí các-bon trong tương lai từ sử dụng điện ở các tòa nhà

Đánh giá về phát thải khí các-bon ở các tòa nhà thường sử dụng một tổ hợp các ngưỡng ranh giới. Trong tổng quan này, ngưỡng ranh giới của các tòa nhà được xác định, là nằm trong phạm vi ranh giới các kịch bản B2 và A1B⁴ theo bản báo cáo của IPCC, với 14,3 GtCO₂-eq GHG phát thải (bao gồm các phát thải từ sử dụng điện) vào

⁴ Các kịch bản A1 mô tả tương lai tăng trưởng kinh tế rất nhanh, tăng trưởng dân số thấp và áp dụng nhanh các công nghệ mới và hiệu quả. Kịch bản B2 mô tả sự chú trọng đến các giải pháp địa phương hơn là toàn cầu để giải quyết các vấn đề kinh tế, xã hội và môi trường. Tốc độ tăng trưởng dân số vừa phải, mức độ phát triển kinh tế bậc trung, sự thay đổi công nghệ không nhanh bằng kịch bản A1. A1B nằm trong nhóm các kịch bản A1 mô tả một sự chú trọng cân bằng đến tất cả các nguồn năng lượng.

năm 2003. Phát thải tương ứng ở các kịch bản B2 và A1B là 11,4 và 15,6 GtCO₂. Ở kịch bản B2, dựa trên mức tăng trưởng kinh tế tương đối thấp, Bắc Mỹ và Đông Á chiếm phần lớn nhất của mức tăng phát thải. Ở kịch bản A1B, thể hiện mức tăng trưởng kinh tế nhanh chóng, toàn bộ mức tăng các phát thải CO₂ ở các nước đang phát triển: châu Á, Trung Đông và Bắc Phi, châu Mỹ Latinh, và châu Phi tiểu Sahara, theo thứ tự này. Nói chung, mức tăng trung bình hàng năm phát thải CO₂ trong giai đoạn 2004 và 2030 là 1,5% ở kịch bản B2 và 2,4% ở kịch bản A1B.

2.4. Ngành công nghiệp

Các ngành công nghiệp cường độ sử dụng năng lượng cao, sắt và thép, các kim loại không chứa sắt, hóa chất và phân bón, lọc dầu, xi măng, bột giấy và giấy, chiếm khoảng 85% tiêu thụ năng lượng của khu vực công nghiệp ở hầu hết các nước. Do sử dụng năng lượng ở các khu vực khác cũng đang tăng nhanh chóng, nên tỷ phần của khu vực này trong sử dụng năng lượng chính toàn cầu đã giảm từ 40% vào năm 1971 xuống 37% vào năm 2004. Phần lớn các ngành công nghiệp tiêu tốn năng lượng này hiện đang được đặt ở các nước đang phát triển. Tổng thể, vào năm 2003, các nước đang phát triển chiếm tới 42% tổng sản lượng thép toàn cầu, 57% sản lượng phân bón nitơ toàn cầu, 78% sản xuất xi măng toàn cầu, và khoảng 50% sản lượng nhôm toàn cầu. Năm 2004, các nước đang phát triển chiếm tới 46% mức sử dụng năng lượng cuối bởi ngành công nghiệp, các nước phát triển chiếm 43% còn các nền kinh tế chuyển đổi chiếm có 11%. Nhiều cơ sở sản xuất (đối với các ngành công nghiệp sản xuất nhôm, xi măng và phân bón) ở các nước đang phát triển là mới và có công nghệ mới nhất với sử dụng năng lượng chuyên biệt ít nhất. Tuy nhiên, ở nhiều nước công nghiệp hóa, nhiều cơ sở cũ và kém hiệu quả vẫn tồn tại. Việc này tạo nên một nhu cầu lớn đầu tư vào các nước đang phát triển để cải thiện hiệu suất năng lượng và đạt được các mức giảm phát thải.

Mức tăng trưởng mạnh của các ngành công nghiệp cường độ sử dụng năng lượng cao trong suốt thế kỷ 20 được dự kiến tiếp tục tiếp diễn do dân số và GDP tăng. Mặc dù sản xuất quy mô lớn chi phối các ngành công nghiệp năng lượng cao này với quy mô trên toàn cầu, nhưng các doanh nghiệp vừa và nhỏ (SME) cũng có những tỷ phần đáng kể ở nhiều nước đang phát triển. Trong khi các quy định và cạnh tranh quốc tế đang buộc các xí nghiệp công nghiệp lớn theo hướng sử dụng công nghệ thân thiện với môi trường, thì các SME có thể không có năng lực kinh tế hay công nghệ để lắp đặt các phương tiện kiểm soát cần thiết hoặc chậm đổi mới. Những hạn chế của SME này tạo ra những thách thức đặc biệt đối với những nỗ lực giảm thiểu phát thải khí nhà kính.

2.5. Ngành nông nghiệp

Các tiến bộ công nghệ đã tạo nên sự tiến bộ lớn ở sản lượng nông nghiệp/đơn vị đất, làm tăng mức khả dụng của lương thực đầu người bất chấp mức suy giảm liên tục ở

diện tích đất nông nghiệp/đầu người. Tuy nhiên, tiến bộ này không phải là diễn ra trên toàn bộ thế giới, với sự đói nghèo và suy dinh dưỡng vẫn tồn tại ở nhiều nước. Tỷ phần của các sản phẩm từ động vật trong chế độ ăn uống đã tăng một cách tích cực ở các nước đang phát triển, trong khi vẫn không đổi ở các nước phát triển. Sản xuất lương thực và sợi phát triển vượt xa với mức tăng mạnh cầu tại những nước đông dân, vì vậy mức khả dụng trung bình hàng ngày toàn cầu của lượng calo/đầu người đã tăng, mặc dù với một số vùng ngoại lệ. Tuy nhiên, mức tăng trưởng này được trả giá bằng áp lực tăng đối với môi trường và sự giảm sút của nguồn tài nguyên thiên nhiên, và vẫn không giải quyết được các vấn đề của an ninh lương thực và sự lan rộng của suy dinh dưỡng ở trẻ em ở các nước nghèo.

Diện tích tuyệt đối của đất trồng trọt toàn cầu đã tăng lên khoảng 1400 triệu ha, một mức tăng tổng thể 8% kể từ thập niên 1960 của thế kỷ trước (mức giảm 5% ở các nước phát triển và mức tăng 22% ở các nước đang phát triển). Xu hướng này được dự đoán là sẽ tiếp tục trong tương lai, với dự kiến có thêm 500 triệu ha được chuyển đổi thành đất nông nghiệp trong giai đoạn 1997 tới 2020, hầu hết là ở Châu Mỹ La tinh và Châu Phi cận Sahara.

Tăng trưởng kinh tế và thay đổi lối sống ở một số nước đang phát triển dẫn tới nhu cầu tăng về thịt và các sản phẩm từ sữa. Từ 1967 tới 1977, nhu cầu về thịt ở các nước đang phát triển tăng từ 11 lên 24 kg/đầu người/năm, đạt mức tỷ lệ tăng trưởng hàng năm hơn 5% tới cuối kỳ. Các mức tăng hơn ở cầu về thịt của toàn cầu (khoảng 60% tới năm 2020) được dự kiến, hầu hết là ở các vùng đang phát triển như Nam và Đông Nam Á, và châu Phi cận Sahara.

Trong năm 2005, nông nghiệp chiếm lượng phát thải ước tính là 5,1 tới 6,1 GtCO₂-eq (từ 10-12% tổng lượng phát thải do con người gây ra của khí nhà kính). CH₄ chiếm tới 3,3 GtCO₂-eq còn N₂O chiếm 2,8 GtCO₂-eq. Trong số phát thải do con người gây ra trong năm 2005, nông nghiệp chiếm khoảng 60% lượng N₂O và 50% lượng CH₄. Bất chấp một lượng lớn khí CO₂ được trao đổi giữa bầu khí quyển và đất nông nghiệp hàng năm, thông lượng ròng được dự đoán là xấp xỉ cân bằng với phát thải CO₂ ròng là chỉ 0,04 GtCO₂/năm (phát thải từ điện và sử dụng nhiên liệu trong nông nghiệp được tính vào trong khu vực các tòa nhà và giao thông).

Các xu hướng trong phát thải khí nhà kính của ngành nông nghiệp tương ứng với biến đổi toàn cầu: dự đoán các mức tăng do khẩu phần ăn thay đổi và dân số tăng lên làm tăng nhu cầu về thực phẩm. Biến đổi khí hậu trong tương lai có thể dẫn tới việc thải thêm nhiều các-bon đất (mặc dù hiệu ứng này không chắc chắn do biến đổi khí hậu cũng có thể làm tăng các đầu vào các-bon đất thông qua sản xuất cường độ cao). Các công nghệ mới nổi có thể làm giảm phát thải/đơn vị lương thực được sản xuất nhưng lượng phát thải tuyệt đối sẽ rất có khả năng tăng.

Nếu không có các chính sách bổ sung, phát thải N_2O và CH_4 nông nghiệp được dự đoán sẽ tăng từ 35-60% tới năm 2030, vì vậy sẽ tăng nhanh hơn mức tăng 14% của các khí nhà kính phi CO_2 được quan sát từ năm 1990 tới 2005.

2.6. Lâm nghiệp

Kể từ TAR (Báo cáo đánh giá biến đổi khí hậu lần thứ 3 năm 2001 của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu - IPCC), các ước tính về mức giảm nhẹ mới đã có ở quy mô địa phương và toàn cầu. Các đánh giá kinh tế lớn và các nhận xét toàn cầu cũng đã có. Đã có nghiên cứu sớm về khả năng tích hợp của các phương án giảm nhẹ, thích nghi và các mối liên hệ với phát triển bền vững. Cũng có sự chú trọng tăng đối với việc làm giảm phát thải từ phá rừng với vai trò là một phương án giảm nhẹ chi phí thấp, một phương pháp mà sẽ có các hiệu quả phụ lớn. Có một số minh chứng cho thấy các tác động về biến đổi khí hậu cũng có thể làm ngăn cản tiềm năng giảm nhẹ biến đổi khí hậu của rừng.

Mức độ bao phủ toàn cầu của rừng là 3952 triệu ha, khoảng 30% diện tích đất của thế giới. Phù hợp nhất với chu trình cacbon là giai đoạn từ năm 2000 tới 2005, diện tích rừng chặt phá rừng tiếp tục ở tỷ lệ 12,9 triệu ha/năm, chủ yếu là kết quả của sự chuyển đổi đất rừng thành đất nông nghiệp, nhưng cũng còn do sự mở rộng của việc định cư và hạ tầng, thường là do lấy gỗ. Vào thập niên 1990 của thế kỷ trước, phá rừng rộng cao hơn một chút, 13,1 triệu ha/năm. Do trồng rừng, sự phục hồi lại quang cảnh và sự mở rộng tự nhiên của rừng, nên tỷ lệ mất rừng từ năm 2000 tới 2005 là 7,3 triệu ha/năm, với tỷ lệ mất rừng lớn nhất là ở Nam Mỹ, châu Phi và Đông Nam Á. Tỷ lệ mất rừng này thấp hơn tỷ lệ mất là 8,9 triệu ha/năm vào thập niên 1990 của thế kỷ trước.

Ở quy mô toàn cầu, trong thập niên trước của thế kỷ 20, phá rừng ở các vùng nhiệt đới và trồng lại rừng ở vùng ôn đới và vùng bắc cực tồn tại các yếu tố chính chịu trách nhiệm cho phát thải và loại bỏ khí CO_2 một cách tương ứng. Các phát thải từ phá rừng trong thập niên 90 của thế kỷ trước được ước tính ở mức 5,8 $GtCO_2$ /năm.

2.7. Quản lý chất thải

Chất thải phát sinh ra do các yếu tố dân cư, sự sung túc và đô thị hóa. Các tỷ lệ phát sinh ra chất thải hậu tiêu thụ của toàn cầu hiện tại được dự đoán là từ 900 tới 1300 Mt/năm (Mt bằng 10^6 tấn). Các tỷ lệ này đang tăng trong những năm gần đây, đặc biệt là ở các nước đang phát triển với tốc độ tăng dân số, tăng trưởng kinh tế và đô thị hóa nhanh. Ở các nước phát triển cao, mục tiêu hiện tại là tách riêng sự phát sinh chất thải khỏi các động lực định hướng kinh tế ví dụ như GDP, các xu thế gần đây cho thấy tỷ lệ phát sinh chất thải hậu tiêu thụ/đầu người có thể đạt ngưỡng đỉnh với vai trò là kết quả của tái chế, tái sử dụng, tối thiểu hóa chất thải, và các sáng kiến khác.

Chất thải hậu tiêu thụ là một phần đóng góp nhỏ vào phát thải khí nhà kính (nhỏ hơn 5%), với CH_4 rác thải chiếm hơn 50% của các phát thải hiện tại. Các nguồn thứ

cấp của phát thải là N_2O và CH_4 nước thải, ngoài ra, các phát thải nhỏ CO_2 có nguồn gốc từ sự đốt cháy chất thải có chứa cacbon hóa thạch. Nói chung, có một sự không rõ ràng lớn về mặt định lượng các phát thải trực tiếp, các phát thải gián tiếp và các tiềm năng giảm nhẹ biến đổi khí hậu đối với lĩnh vực quản lý chất thải, một lĩnh vực có thể được làm giảm bằng cách thu thập và phân tích dữ liệu tổng hợp và thích hợp ở cấp độ quốc gia. Hiện tại không có một phương pháp mang tính phát kiến nào về việc định lượng hàng năm các phát thải khí nhà kính từ chất thải có nguồn gốc từ giao thông, hoặc các phát thải hàng năm của các khí flo hóa từ các chất thải có nguồn gốc hậu tiêu thụ. Một điểm quan trọng cần lưu ý đó là chất thải từ sản phẩm tiêu dùng tạo nên một nguồn tài nguyên năng lượng tái tạo lớn có thể được khai thác thông qua các quy trình nhiệt hóa (thông qua quy trình thiêu và đồng đốt cháy công nghiệp), tận dụng và sử dụng khí rác thải của biogas bể mêtan. Chất thải có những lợi thế kinh tế so sánh với nhiều nguồn tài nguyên sinh khối bởi vì nó thường xuyên được thu thập ở mức chi phí của nhà nước. Dung tích năng lượng của chất thải có thể được khai thác một cách hiệu quả nhất bằng cách sử dụng các quy trình nhiệt hóa: trong suốt quá trình đốt cháy, năng lượng được thu một cách trực tiếp từ sinh khối (các sản phẩm giấy, gỗ, vải dệt tự nhiên, thực phẩm) và từ các nguồn cacbon hóa thạch (plastics, vải tổng hợp). Giá sử giá trị nhiệt trung bình là 9 GJ/tấn, chất thải toàn cầu chứa hơn 8 EJ năng lượng khả dụng, giá trị này có thể tăng tới hơn 13 EJ (gần bằng 2% nhu cầu năng lượng cơ bản) vào năm 2030. Hiện tại, hơn 130 triệu tấn/năm chất thải được đốt cháy trên toàn thế giới, tương đương với hơn 1 EJ/tấn. Sự chuyển hóa CH_4 rác thải thành nguồn năng lượng tái tạo được thương mại hóa hơn 30 năm trước đây với giá trị năng lượng hiện tại hơn 0,2 EJ/năm. Cùng với các quy trình nhiệt hóa, khí rác thải và bể mê tan cũng có thể mang lại những nguồn năng lượng bổ sung quan trọng cho địa phương.

Do sự chuyển hóa khí rác thải và các biện pháp bổ sung (gia tăng tái quay vòng và giảm thải rác thông qua việc thực hiện các công nghệ thay thế), nên phát thải CH_4 từ các bãi rác ở các nước phát triển đã cơ bản được ổn định. Các lựa chọn công nghệ quản lý chất thải quy mô lớn, thuận thực để tránh hoặc làm giảm phát thải khí nhà kính so với diện tích bãi rác bao gồm việc đốt cháy đối với các quy trình xử lý sinh học và chuyển hóa chất thải thành năng lượng ví dụ như xử lý cơ sinh học (MBT) và phân hủy. Tuy nhiên, ở các nước đang phát triển, các phát thải CH_4 rác thải đang tăng lên do các phương thức thải rác (kị khí) có kiểm soát đang được thực hiện. Điều này đặc biệt đúng với các khu vực đô thị hóa nhanh, là những nơi mà các bãi rác được áp dụng kỹ thuật tạo ra một chiến lược phân hủy rác thải thân thiện với môi trường hơn so với các bãi rác thải mở bằng cách giảm các vật chủ gây bệnh, các mùi độc hại, đốt cháy phi kiểm soát và các phát thải ô nhiễm ra không khí, nước và đất. Nhưng nghịch lý, các phát thải khí nhà kính cao hơn diễn ra khi sự sản sinh ưa khí của CO_2 (bằng cách đốt

cháy và phân hủy ura khí) được chuyển sang sản sinh CH₄ yếm khí. Ở một mức độ lớn, đây là sự chuyển đổi giống với việc chôn rác thải ở nhiều nước phát triển trong suốt thập niên 1950-1970 của thế kỷ trước. Phát thải CH₄ tăng lên có thể được làm giảm nhẹ bằng cách thúc đẩy việc thực hiện thu hồi khí kỹ thuật, được hỗ trợ bởi các cơ chế Kyoto như cơ chế phát triển sạch (CDM-Clean Development Mechanism) và Thực hiện Chung (Joint Implementation - JI). Vào cuối tháng 10/2006, các dự án thu hồi khí rác thải đã chiếm tới 12% trong tổng giảm phát thải xác nhận hàng năm (Certified Emission Reductions - CER) theo CDM. Ngoài ra, các chiến lược quản lý chất thải lựa chọn, ví dụ như tái sử dụng và phân hủy cũng có thể được thực hiện ở các nước đang phát triển. Phân hủy có thể mang lại một phương án bền vững, phù hợp với các bãi rác được thiết kế, đặc biệt là ở những nơi mà các chiến lược công nghệ thấp, chuyên sâu về sức lao động được sử dụng cho các dòng chất thải phân hủy sinh học được lựa chọn.

Tái chế, tái sử dụng và các sáng kiến giảm nhẹ chất thải, ở cả khu vực nhà nước và tư nhân, đều làm giảm một cách gián tiếp phát thải khí nhà kính bằng cách giảm khối lượng chất thải cần phân hủy. Tùy thuộc vào các quy định, chính sách, các thị trường, các ưu đãi kinh tế và các khó khăn của địa phương, mà các nước phát triển đang thực hiện các tỷ lệ tái chế ngày càng cao để chuyển hóa tài nguyên, sử dụng nhiên liệu hóa thạch, và tránh tạo ra khí nhà kính. Định lượng hóa các tỷ lệ tái chế toàn cầu hiện tại chưa thực hiện được bởi vì sự khác biệt giữa các đường cơ sở và các định nghĩa, tuy nhiên, các mức giảm cục bộ lớn hơn 50% đã đạt được. Tái chế cũng có thể được mở rộng một cách thiết thực ở nhiều nước để đạt được các mức giảm bổ sung. Ở các nước đang phát triển, làm sạch chất thải và tái chế phi chính thống là các thủ tục phổ biến. Thông qua nhiều hoạt động tái chế quy mô nhỏ và chuyển hóa khác nhau, những người kiếm sống nhờ các chất thải phi tập trung có thể làm giảm mạnh khối lượng của chất thải vốn cần các giải pháp tập trung hơn. Các nghiên cứu chỉ ra rằng các hoạt động tái chế công nghệ thấp cũng có thể tạo ra công ăn việc làm thông qua tài chính vĩ mô sáng tạo và các khoản đầu tư quy mô nhỏ khác. Thách thức là việc cung cấp các điều kiện lao động an toàn hơn, tốt cho sức khỏe hơn các điều kiện hiện tại mà các công nhân vệ sinh đang phải trải qua ở các bãi rác không được kiểm soát.

Đối với nước thải, chỉ khoảng 60% dân số toàn cầu được hưởng dịch vụ vệ sinh (hệ thống thoát nước). Đối với xử lý nước thải, hầu như 90% dân số ở các nước phát triển nhưng chưa tới 30% ở các nước đang phát triển được hưởng điều kiện vệ sinh cải thiện (bao gồm hệ thống thoát nước và xử lý nước thải, bể phốt hay nhà xí). Bổ sung thêm vào việc giảm nhẹ khí nhà kính, quản lý nước thải và cải thiện vệ sinh mang lại một phạm vi rộng các ích lợi kép thân môi trường và sức khỏe.

Với việc đánh giá về quản lý chất thải và nước thải ở các nước đang phát triển, hai khó khăn chính đối với phát triển bền vững là việc thiếu các nguồn tài chính và việc lựa chọn ra các công nghệ thực sự bền vững và thích hợp cho một hoàn cảnh cụ thể.

Đây chính là một thử thách tốn kém và lớn để thực hiện việc thu thập chất thải và nước thải, giao thông, tái chế, xử lý và quản lý các chất tồn dư ở nhiều nước đang phát triển. Tuy nhiên, việc thực hiện hạ tầng chất thải và nước thải bền vững đã thu được các đồng lợi ích để hỗ trợ cho việc thực hiện Các mục tiêu Phát triển Thiên niên Kỷ (MDGs) thông qua cải thiện y tế, bảo tồn các nguồn nước, và giảm các chất thải chưa được xử lý vào không khí, nước bề mặt, nước ngầm, đất và các vùng ven biển.

3. Phát triển bền vững và giảm nhẹ biến đổi khí hậu

Mối quan hệ giữa phát triển bền vững và giảm nhẹ biến đổi khí hậu

Khái niệm phát triển bền vững được Ủy ban Môi trường và Phát triển Thế giới áp dụng và có sự đồng thuận rằng phát triển bền vững bao gồm một phương pháp tiếp cận tích hợp và đồng bộ tới các quy trình phát triển kinh tế, xã hội và môi trường. Tuy nhiên, các cuộc thảo luận về phát triển bền vững đều tập trung chủ yếu vào các khía cạnh môi trường và kinh tế. Tầm quan trọng của các yếu tố xã hội, chính trị và văn hóa hiện chỉ mới được công nhận. Tích hợp là cơ bản nhằm để khớp với các quỹ đạo phát triển bền vững, bao gồm việc giải quyết vấn đề biến đổi khí hậu. Mặc dù vẫn còn ở các giai đoạn ban đầu, các chỉ số để đo và quản lý sự bền vững của phát triển ở cấp vĩ mô và khu vực ngày càng được sử dụng, được định hướng một phần bởi sự chú trọng ngày càng tăng vào khả năng giải trình trong bối cảnh quản lý và các sáng kiến chiến lược. Ở cấp độ khu vực, tiến bộ đối với phát triển bền vững bắt đầu được đo lường và được báo cáo bởi ngành công nghiệp và các chính phủ bằng cách sử dụng chứng nhận xanh, các công cụ giám sát hoặc các đăng ký phát thải không kể những biện pháp khác. Tuy nhiên, báo cáo về các chỉ số cho thấy chỉ một vài chỉ số vĩ mô bao gồm các phương pháp đo tiến triển của biến đổi khí hậu. Biến đổi khí hậu bị ảnh hưởng không chỉ bởi các chính sách riêng về khí hậu được thực hiện (hướng tiếp cận khí hậu là hàng đầu) mà còn bởi một hỗn hợp các phương án phát triển được đề ra và các quỹ đạo phát triển mà các chính sách này hướng tới (hướng phát triển là hàng đầu)- một điểm được hỗ trợ bởi các phân tích kịch bản toàn cầu được công bố kể từ TAR. Vì vậy, việc khiến cho phát triển trở nên bền vững hơn bằng cách thay đổi các hướng phát triển cũng có thể có đóng góp lớn vào các mục tiêu giảm biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng thay đổi các hướng phát triển không phải chỉ ở việc lựa chọn một hướng được vạch ra, mà thay vào đó là định vị thông qua một toàn cảnh tiến triển và còn chưa được thăm dò. Đã có tranh luận sâu hơn về việc liệu phát triển bền vững có thể làm giảm mức độ nhạy cảm của tất cả các nước, và đặc biệt là các nước đang phát triển, trước các tác động biến đổi khí hậu. Tranh luận với vai trò là một vấn đề phát triển thay vì là một vấn đề môi trường có thể giải quyết tốt hơn các mục tiêu trước mắt của tất cả các nước, đặc biệt là các nước đang phát triển và mức độ nhạy cảm đặc biệt của mình đối

với biến đổi khí hậu, trong khi đồng thời lại chỉ ra được các động lực đối với phát thải có liên quan tới hướng phát triển chủ chốt.

Khiến cho phát triển trở nên bền vững hơn

Ra quyết định về phát triển bền vững và giảm nhẹ biến đổi khí hậu chẳng bao lâu không đơn thuần chỉ ở phạm vi của các chính phủ. Các báo cáo cho thấy có sự chuyển dịch sang một khái niệm lãnh đạo mang tính tổng hợp hơn. Bao gồm những đóng góp của các cấp khác nhau của chính phủ, khu vực tư nhân, các thành phần phi chính phủ và của xã hội dân sự. Các vấn đề về biến đổi khí hậu càng mang tính chủ đạo trong việc hoạch định ở cấp thực hiện thích hợp, và toàn bộ các thành phần thích hợp này càng tham gia vào quy trình ra quyết định theo một phương cách có nghĩa, thì chúng càng dễ dàng đạt được những mục tiêu mong muốn hơn. Đối với các chính phủ, cần có một cơ quan quan trọng về lý luận chính trị xác định và lý giải về sự hiện diện của các kiểu chính sách quốc gia hoặc văn hóa chính trị. Ý nghĩa của việc này là mỗi một nước có xu hướng giải quyết các vấn đề theo một cách riêng, không tính tới sự khác biệt hoặc các đặc điểm chuyên biệt của bất cứ một vấn đề chuyên biệt nào, “phương thức thực hiện” quốc gia. Hơn nữa, sự lựa chọn các công cụ chính sách bị ảnh hưởng bởi năng lực thể chế của các chính phủ để thực hiện công cụ đó. Điều này có nghĩa rằng tổ hợp được ưu tiên hơn gồm các quyết định chính sách và giảm nhẹ biến đổi khí hậu phụ thuộc mạnh vào các tính chất quốc gia. Tuy nhiên, hiểu biết của con người về loại chính sách nào sẽ hoạt động tốt hơn ở các nước có các đặc điểm quốc gia đặc biệt thì vẫn còn rất ít ỏi.

Khu vực tư nhân là thành phần chủ chốt trong hướng phát triển bền vững và sinh thái. Trong 25 năm qua, số lượng các công ty đang thực hiện các bước để giải quyết các vấn đề bền vững ở cả cấp độ ngành công nghiệp và doanh nghiệp đang tăng mạnh. Mặc dù đạt được những tiến bộ, nhưng khu vực tư nhân vẫn có thể có năng lực để giữ vai trò lớn hơn để khiến cho quá trình phát triển trở nên bền vững hơn nếu nhận thức được rằng việc này cũng sẽ có lợi cho sự tăng trưởng hiệu suất của chính mình.

Các nhóm dân số giữ một vai trò lớn trong việc kích thích phát triển bền vững và là các thành phần tích cực để thực hiện các chính sách phát triển bền vững. Ngoài tự thực hiện các dự án phát triển bền vững, họ có thể thúc đẩy cải tổ chính sách bằng việc nâng cao nhận thức, ủng hộ và kích thích cải tổ. Họ cũng có thể thúc đẩy hoạt động chính sách bằng cách lấp đầy các khoảng trống và cung cấp các dịch vụ chính sách, gồm cả trong các lĩnh vực đổi mới, giám sát và nghiên cứu chính sách. Các tương tác có thể dưới các hình thức cộng tác hoặc thông qua các đối thoại giữa các bên liên quan để đưa các nhóm công dân lên cấp độ có thể tăng áp lực lên cả chính phủ lẫn ngành công nghiệp.

Các hợp tác thảo luận công tư hoạt động hiệu quả nhất khi các nhà đầu tư, các chính quyền địa phương và các nhóm công dân sẵn sàng hợp tác với nhau để thực thi các công nghệ mới và thảo luận về các công nghệ được dùng cục bộ ở các lĩnh vực.

Ý nghĩa của các phương án phát triển đối với giảm nhẹ biến đổi khí hậu

Trong một thế giới hỗn tạp, sự hiểu biết về các điều kiện và ưu đãi vùng khác nhau là rất thiết yếu đối với việc hướng các chính sách biến đổi khí hậu vào các chiến lược phát triển bền vững. Các nghiên cứu điển hình chuyên biệt theo vùng và đất nước chứng minh rằng các chính sách và các hướng phát triển khác nhau có thể đạt được các mức giảm phát thải đáng kể, phụ thuộc vào năng lực thực hiện phát triển bền vững và các mục tiêu biến đổi khí hậu. Ở các nước công nghiệp hóa, biến đổi khí hậu tiếp tục được coi chủ yếu như một vấn đề môi trường, tách biệt, được giải quyết thông qua các chính sách về biến đổi khí hậu chuyên biệt. Một cuộc thảo luận cơ bản và rộng rãi trong xã hội về các ý nghĩa của các hướng phát triển về biến đổi khí hậu nói chung và giảm nhẹ biến đổi khí hậu nói riêng ở các nước công nghiệp hóa vẫn chưa được khởi động một cách nghiêm túc. Các lĩnh vực giảm nhẹ biến đổi khí hậu được ưu tiên đối với các nước trong nhóm có thể là ở hiệu suất năng lượng, năng lượng tái tạo, CCS (thu và lưu giữ cacbon), v.v... Tuy nhiên, các hướng giảm phát thải áp dụng không chỉ cho các phương án năng lượng. Ở nhiều vùng, phát triển việc sử dụng đất, đặc biệt là mở rộng hạ tầng, được xác định như một biến số chủ chốt để xác định phát thải khí nhà kính trong tương lai.

Các nền kinh tế chuyển đổi với vai trò là một nhóm đơn sẽ sớm không tồn tại nữa. Tuy vậy, Trung và Đông Âu và các nước Đông Âu, Caucasus và Trung Á (EECCA) đều có những đặc điểm trung về phát triển kinh tế-xã hội, giảm nhẹ biến đổi khí hậu và phát triển bền vững. Các biện pháp để tách biệt tăng trưởng kinh tế và tăng phát thải sẽ đặc biệt quan trọng đối với nhóm nước này.

Một số nước đang phát triển lớn được dự đoán sẽ tăng phát thải của họ ở tỷ lệ cao hơn so với các nước công nghiệp hóa và các nước đang phát triển còn lại do những nước này đang ở trong giai đoạn công nghiệp hóa nhanh. Đối với những nước này, các chính sách giảm nhẹ biến đổi khí hậu và phát triển bền vững có thể bù đắp cho nhau, tuy nhiên, các nguồn lực công nghệ và tài chính bổ sung sẽ nâng cao năng lực của những nước này để theo đuổi hướng phát triển các-bon thấp. Đối với các nước đang phát triển khác, các năng lực thích ứng và giảm nhẹ thấp và hỗ trợ phát triển cũng có thể giúp làm giảm mức tăng phát thải của họ trong khi lại giải quyết được các vấn đề về tiếp cận năng lượng và an ninh năng lượng.

CDM có thể cung cấp các nguồn lực tài chính cho những sự phát triển như vậy. Các thành viên của Tổ chức Các nước xuất khẩu Dầu mỏ (OPEC) là độc nhất vô nhị ở

điểm rằng những nước này có thể bị tác động nghịch bởi các hướng phát triển làm giảm nhu cầu về nhiên liệu hóa thạch. Đa dạng hóa nền kinh tế của những nước này đang rất được chú ý trong các chương trình nghị sự của nước này.

Có thể rút ra một số kết luận chung về những biến đổi ở các hướng phát triển ở cấp độ khu vực có thể hoặc đã làm giảm phát thải:

- Các phát thải khí nhà kính bị ảnh hưởng bởi, nhưng không có mối liên hệ chắc chắn nào với, mức tăng trưởng kinh tế; các lựa chọn chính trị có thể tạo ra sự khác biệt.
- Các khu vực trong đó sản xuất hiệu quả ở dưới mức sản xuất khả thi tối đa với cùng những lượng đầu vào như nhau, đó là các khu vực cách xa với đường giới hạn sản xuất (production frontier) của họ, có các cơ hội để thực hiện các chính sách “ba bên cùng có lợi”, đó là các chính sách đem lại tự do cho các nguồn lực và thúc đẩy tăng trưởng, đáp ứng các mục tiêu phát triển bền vững khác và cùng làm giảm thiểu các phát thải khí nhà kính tương ứng với đường cơ sở.
- Các khu vực trong đó sản xuất gần gũi với các đầu vào khả dụng tối ưu, ví dụ như các khu vực gần gũi hơn với đường giới hạn sản xuất, cũng có các cơ hội làm giảm phát thải nhà kính bằng cách đáp ứng các mục tiêu phát triển bền vững khác. Tuy nhiên, càng gần với đường giới hạn khả năng sản xuất thì càng dễ xuất hiện những sự cân bằng.
- Vấn đề không chỉ ở một phương án lựa chọn “tốt” được đưa ra ở một điểm nhất định kịp thời, mà cũng còn ở chính sách ban đầu được duy trì trong một thời gian dài, đôi khi tới vài thập kỷ, để thực sự có hiệu quả.
- Thường thì không chỉ cần một quyết định chính sách, mà cần một loạt các quyết định để tác động tới phát thải. Điều này làm nảy sinh vấn đề phối hợp giữa các chính sách ở một số khu vực và ở các cấp khác nhau. Hội nhập hóa đòi hỏi rằng các chính sách, chương trình phi khí hậu và/hoặc từng hành động đều đưa giảm nhẹ biến đổi khí hậu vào cân nhắc, ở cả các nước phát triển và đang phát triển. Tuy nhiên, chỉ kèm đơn thuần biến đổi khí hậu vào một chương trình nghị sự đã có sẽ không dễ thành công. Sự khó khăn hay dễ dàng đối với việc hội nhập được hoàn thành ở điểm nào sẽ phụ thuộc vào cả các công nghệ hoặc các phương thức giảm nhẹ biến đổi khí hậu, lẫn cả hướng phát triển chính. So sánh các lợi ích phát triển khác với các lợi ích của khí hậu sẽ là một nền tảng chính để chọn lựa các khu vực phát triển để hội nhập. Các quyết định ví dụ như về chính sách kinh tế vĩ mô, các phương thức bảo hiểm, cải tổ thị trường điện, an ninh năng lượng, bảo tồn rừng, những quyết định này vốn thường được đối xử tách rời khỏi chính sách khí hậu, lại có thể có tác động sâu sắc tới phát thải, mức độ giảm nhẹ thiên tai cần thiết, chi phí và lợi ích phát sinh. Tuy nhiên,

trong một số trường hợp, ví dụ như chuyển đổi từ đun nấu bằng sinh khối sang khí hóa lỏng (LPG) ở các vùng nông thôn ở các nước đang phát triển, thì có thể hợp lý khi không cần quan tâm tới các nghiên cứu về biến đổi khí hậu bởi vì mức tăng phát thải ít nếu so với các lợi ích phát triển của nó.

Ý nghĩa của các phương án giảm nhẹ biến đổi khí hậu đối với các quỹ đạo phát triển bền vững

Hiểu biết về các cơ hội lựa chọn các phương án giảm nhẹ biến đổi khí hậu và việc thực hiện ngày càng tăng lên theo cách không gây mâu thuẫn với các lợi ích khác từ các khía cạnh khác của phát triển bền vững, hoặc tại nơi mà các cân bằng lựa chọn là cần thiết, để cho phép các phương án lựa chọn cơ bản được thực hiện. Các lợi ích của phát triển bền vững của các phương án giảm nhẹ biến đổi khí hậu khác biệt theo khu vực và theo vùng như sau:

- Nói chung, các phương án giảm nhẹ biến đổi khí hậu cải thiện hiệu suất sử dụng các nguồn lực, dù là năng lượng, nước hay đất, tạo ra các lợi ích tích cực trên khắp ba khía cạnh của phát triển bền vững. Các phạm trù khác của các phương án giảm nhẹ biến đổi khí hậu có tác động không chắc chắn hơn và phụ thuộc vào bối cảnh kinh tế-xã hội rộng hơn mà trong đó phương án này được thực hiện.
- Các chính sách liên quan tới khí hậu ví dụ như hiệu suất năng lượng và năng lượng đổi mới thường có lợi ích về mặt kinh tế, cải thiện được an ninh năng lượng và giảm phát thải ô nhiễm cục bộ. Nhiều phương án giảm nhẹ nguồn cung năng lượng có thể được hoạch định để cũng đạt được các lợi ích phát triển bền vững ví dụ như tránh xáo trộn dân cư địa phương, tạo ra việc làm và các lợi ích y tế.
- Giảm chặt rừng có thể có các lợi ích về bảo tồn nước và đất, đa dạng sinh học lớn, nhưng cũng có thể dẫn tới việc mất các lợi ích kinh tế của một số thành phần. Trồng rừng được quy hoạch thích hợp và các nông trường năng lượng sinh học có thể dẫn tới việc khôi phục lại đất bị thoái hóa, quản lý các dòng nước, duy trì được cacbon đất và làm lợi cho các nền kinh tế nông thôn, nhưng có thể cạnh tranh với đất để sản xuất lương thực và có thể tác động tiêu cực đối với đa dạng sinh học.
- Tồn tại các cơ hội tốt cho việc tăng cường phát triển bền vững thông qua các hoạt động giảm nhẹ biến đổi khí hậu ở hầu hết các khu vực, nhưng đặc biệt là ở lĩnh vực quản lý chất thải, giao thông và xây dựng, đáng lưu ý là thông qua việc giảm sử dụng năng lượng và giảm ô nhiễm.

III. GEOENGINEERING VÀ CHÍNH SÁCH CÔNG NGHỆ QUỐC GIA LIÊN QUAN

1. Khái niệm về geoengineering (kỹ thuật khí hậu)

Trong 5 năm qua, dân số thế giới đã tăng gần 80 triệu người mỗi năm, đạt khoảng 6,8 tỷ người vào năm 2009. Nếu không có một sự đảo lộn bất ngờ trong xu thế nhân khẩu học, thì sẽ có hơn 9 tỷ người sẽ cùng chung sống trên trái đất vào 2050. Một loạt những thách thức phát sinh do tăng dân số và tiêu dùng quá mức gây ra đã gây ra những áp lực về tiềm năng là không thể đảo ngược lên các hệ thống và các chu trình có mối liên kết lẫn nhau trong đó có khí hậu trái đất. Tăng trưởng dân số làm cạn kiệt nguồn tài nguyên và gây căng thẳng cho các hệ thống tự nhiên vốn đang duy trì khả năng chịu đựng của trái đất. Thiếu nước, sản lượng nông nghiệp giảm sút và mất đa dạng sinh học chỉ là một số hệ quả của những áp lực trên.

Những thách thức môi trường trên là không thể tách biệt theo bất kỳ một ý nghĩa trọn vẹn nào. Các giải pháp cần cân nhắc cả một dãy phổ đầy đủ gồm các tác động liên quan. Các vấn đề phức tạp yêu cầu các phương pháp giải quyết phức tạp. Tinh thần của luật môi trường quốc tế-một hệ thống tích hợp cao gồm các hiệp định đa phương, các thông lệ và các chuẩn mực bị chi phối mạnh bởi “Giả thuyết Gaia”, khẳng định rằng bầu khí quyển của trái đất, sinh quyển và sinh vật sống vận động như một hệ thống duy nhất đấu tranh để duy trì sự ổn định, điều cần thiết cho sự tồn tại của sự sống. Luật phát triển bền vững vốn mang tính tổng thể và coi tăng trưởng kinh tế, phát triển xã hội và bảo vệ môi trường như là “các trụ cột phụ thuộc và tương hỗ lẫn nhau”.

Kỹ thuật khí hậu (hay Geoengineering) đã thu hút được sự quan tâm lớn trong vòng hai năm qua. Tháng 2/2009, John Holdren, cố vấn khoa học của Tổng thống Obama đã cho biết Nhà trắng đang cân nhắc về geoengineering như một phản ứng cấp bách có thể thực hiện được trước hiện tượng nóng lên toàn cầu. Tháng 6/2009, Viện Hàn Lâm khoa học Quốc gia Hoa Kỳ đã tổ chức cuộc hội thảo kéo dài 2 ngày về geoengineering, trong đó có bài diễn thuyết mở đầu của ngài chủ tịch Viện, Ralph Cicerone. Tháng 3/2010, nhiều nhà khoa học hàng đầu về khí hậu đã tham dự một hội nghị tại Nam California để thảo luận về các vấn đề điều hành liên quan tới nghiên cứu geoengineering. Tháng 4/2010, Ủy ban Khoa học và Công nghệ của Hạ viện Mỹ đã kết thúc phiên điều trần thứ ba trong chuỗi 3 phiên điều trần xem xét toàn bộ các vấn đề khoa học và pháp lý liên quan tới geoengineering. Trong thời gian diễn ra các hoạt động nổi bật này, geoengineering đã bắt đầu nhận được sự ủng hộ của nhiều nhà khoa học vốn hoài nghi trước đây về biến đổi khí hậu như giáo sư và chuyên gia người Đan Mạch Bjorn Lomborg và các nhà khoa học nổi tiếng về khí hậu như Peter Cox, tác giả của bản báo cáo 4 phần về khoa học trái đất của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC).

Geoengineering là gì?

Các tài liệu nghiên cứu đã không đưa ra được nhiều định nghĩa đã được gọt rửa về geoengineering. Có một số định nghĩa có sức thuyết phục về một vài dạng cụ thể của geoengineering như màu mỡ hóa đại dương bằng sắt, vv ... tuy nhiên, định nghĩa toàn diện về geoengineering thì vẫn còn mơ hồ, nhạy cảm và dễ bị lạm dụng tu từ. Không có một định nghĩa chung cho geoengineering. Thuật ngữ này được hiểu theo cả nghĩa rộng và nghĩa hẹp. Một vài đề xuất về định nghĩa được đề cập đến trong các tài liệu nghiên cứu như sau:

“Geoengineering nhằm mục đích thay đổi một cách có chủ đích các hiện tượng trên quy mô hành tinh như chu trình cacbon và động lực học khí quyển”.

“Các công nghệ geoengineering nhằm mục đích can thiệp vào hệ thống khí hậu bằng những thay đổi quy mô lớn và có tính toán sự cân bằng năng lượng của Trái đất nhằm giảm nhiệt độ và chống lại biến đổi khí hậu do con người gây ra”.

“Thuật ngữ ‘geoengineering’ mô tả cụ thể và có chủ đích các hoạt động được thiết kế để gây ra một sự thay đổi trong khí hậu toàn cầu với mục đích giảm thiểu hoặc đảo ngược biến đổi khí hậu do con người tạo ra”.

"Những can thiệp có chủ đích trên quy mô lớn vào hệ thống khí hậu trái đất nhằm giảm thiểu biến đổi khí hậu hay những tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu...."

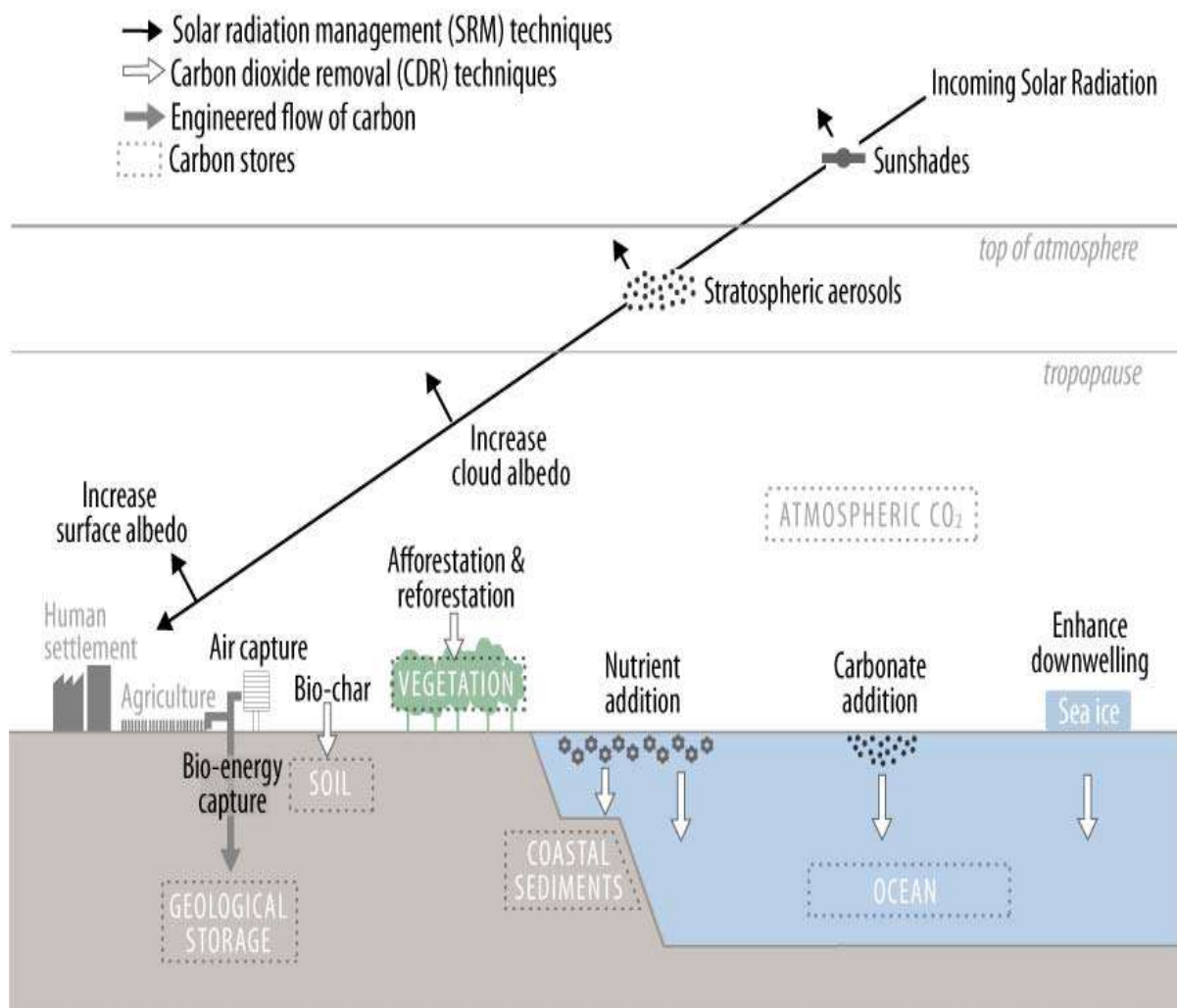
Thuật ngữ “geoengineering” không có định nghĩa chuẩn. Có một số định nghĩa về các kỹ thuật cụ thể của geoengineering như đưa sắt vào đại dương để làm màu mỡ hóa, nhưng định nghĩa chung về geoengineering thì vẫn còn mập mờ, chưa hoàn chỉnh và không tổng quát. Năm 2009, Hiệp hội Hoàng gia- Viện hàn lâm khoa học quốc gia của Anh - đã đưa ra một bản báo cáo, phân nhóm các đề xuất geoengineering thành hai hạng mục chung: Điều khiển bức xạ mặt trời (SRM) và loại bỏ cacbon dioxit (CDR).

Các chiến lược geoengineering nằm trong hai hạng mục trên : Điều khiển bức xạ mặt trời và loại bỏ CO₂. Các công nghệ điều khiển bức xạ mặt trời nhằm phản xạ một phần tia bức xạ mặt trời trở lại không gian, qua đó, giảm thiểu lượng bức xạ lưu giữ trong khí quyển của trái đất. Các phương pháp điều khiển bức xạ mặt trời bao gồm: lắp đặt các tấm gương phản chiếu trong không gian; tăng hệ số phản xạ của các bề mặt tự nhiên, các công trình xây dựng, và không khí. Loại bỏ CO₂ nhằm mục đích giảm nồng độ CO₂ dư thừa trong không khí bằng cách thu cacbon trực tiếp từ không khí và lưu giữ nó. Các đề xuất Loại bỏ CO₂ gồm các phương pháp như cô lập cacbon trong sinh khối và đất, màu mỡ hóa đại dương, thay đổi chu trình tuần hoàn của đại dương, thu và giữ cacbon trong các kiến tạo địa chất theo phương pháp phi truyền thống, và phân bố các khoáng chất khai thác trên đất nông nghiệp, và nhiều nơi khác.

2. Các công nghệ geoeengineering

Nhiều công nghệ geoeengineering với phạm vi bao quát rộng được kiến nghị để giải quyết tình trạng biến đổi khí hậu. Công nghệ geoeengineering nhằm vào việc làm giảm nhẹ sự ấm lên liên tục của khí hậu Trái đất. Các công nghệ khác nhau về độ phức tạp, với đủ loại từ trồng cây để thu giữ cacbon cho đến việc đưa các tấm gương lên vũ trụ để phản chiếu ánh sáng mặt trời. Hầu hết các công nghệ này vẫn còn chưa được kiểm chứng và mới ở giai đoạn lý thuyết hoặc nghiên cứu. Nhiều công nghệ được đề cử hoặc còn đang ở giai đoạn sơ khai; hoặc chứng tỏ được khả thi và có hiệu quả thì chúng lại đòi hỏi nguồn kinh phí lớn để triển khai ở quy mô lớn; và chúng thường thiếu sự hỗ trợ về mặt chính trị, khoa học hay của công chúng.

Hình 4: Các phương án công nghệ geoeengineering



Nguồn: "Tiềm năng cường bức xạ của các phương án geoeengineering khác nhau", *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol.9, (6/08/2009).

Có hai hạng mục công nghệ geoengineering quan trọng đó là **loại bỏ cacbonic** (carbon dioxide removal - CDR) và **Quản trị bức xạ mặt trời** (Solar radiation management - SRM). Các phương pháp CDR khử CO₂ trong khí quyển. Các phương pháp SRM làm tăng hệ số phản xạ của khí quyển hay bề mặt của Trái đất, qua đó làm giảm bức xạ mặt trời chiếu tới.

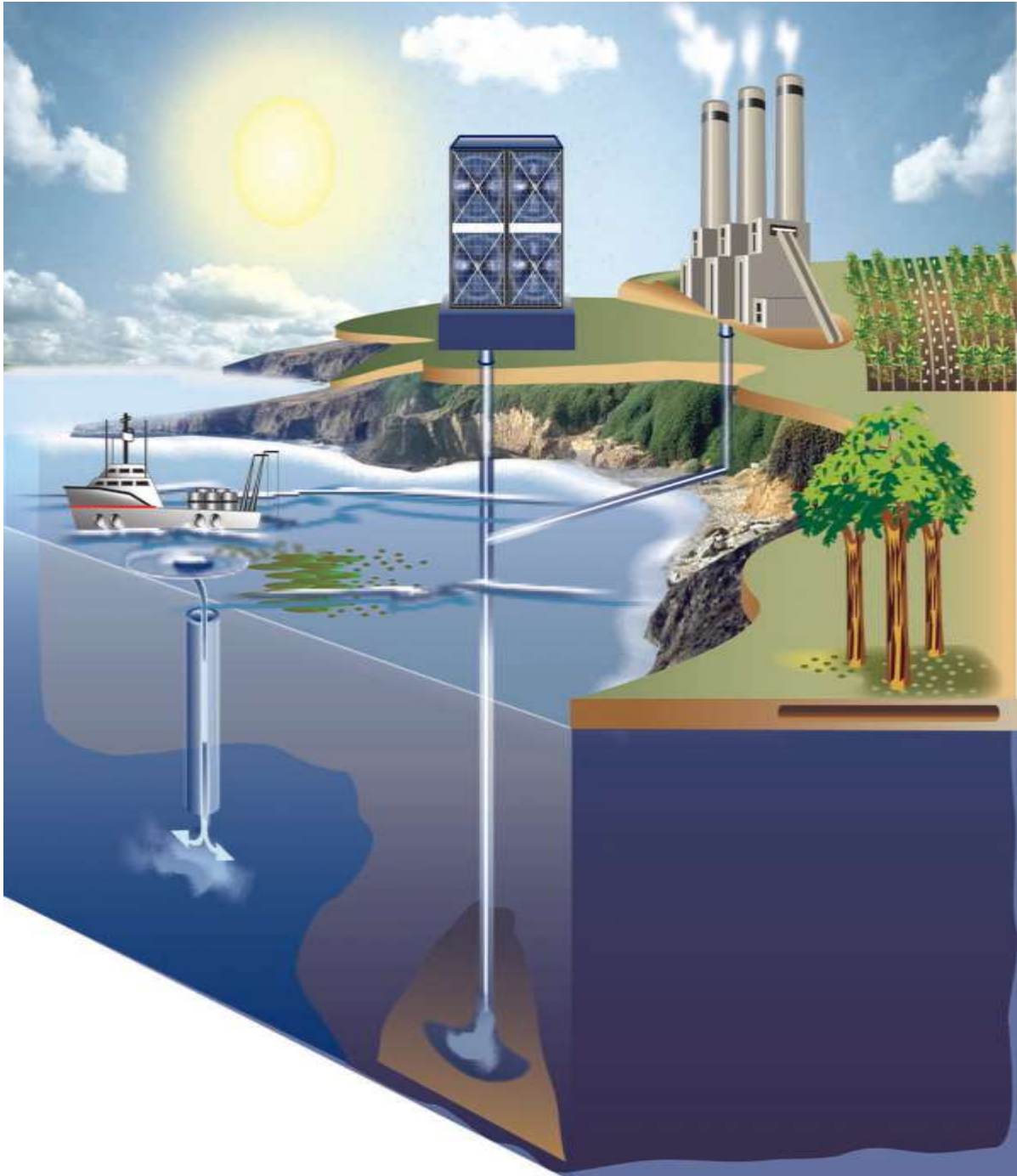
Các phương pháp loại bỏ cacbonic (CDR)

Khí Cacbonic là loại khí nhà kính quan trọng nhất liên quan tới sự gia tăng nhiệt độ khí quyển. Các phương pháp CDR khử CO₂ từ khí quyển và nhằm vào việc làm mát hành tinh bằng cách làm giảm sự hấp thụ nhiệt vào trong khí quyển. Phương pháp CDR tiến hành việc hấp thụ và lưu giữ CO₂ bằng các công cụ sinh học, vật lý hay hóa học. CO₂ có thể lưu giữ (hay cô lập) bằng cách trồng rừng, màu mỡ hóa đại dương, phong hóa một số đá trầm tích nhất định, hoặc thông qua việc kết hợp công nghệ thu giữ cacbon với sản xuất nhiên liệu sinh học, cùng với các cách tiếp cận khác. Thời gian lưu giữ cacbon thay đổi phụ thuộc vào cách tiếp cận. Ví dụ, lưu giữ cacbon có thể kéo dài từ hàng thập kỷ cho đến hàng thế kỷ đối với màu mỡ hóa đại dương, hay hàng nghìn năm đối với phong hóa đá cacbonat.

Mặc dù các kỹ thuật CDR có thể hạ thấp nồng độ CO₂ trong khí quyển và cuối cùng dẫn đến một sự suy giảm nhiệt độ, nhưng để có được tác động đến sự thay đổi khí hậu, chúng đòi hỏi nhiều thời gian hơn đáng kể so với các phương pháp SRM. Như vậy, các phương pháp CDR không phải là những phương pháp lý tưởng để khai thác, nếu như cần phải biến đổi khí hậu một cách tức thì. Trong khi tác động của các phương pháp CDR có thể phải mất nhiều năm để hiện thực hóa, nhiều phương pháp CDR có thể điều khiển một cách dễ dàng hơn so với các phương pháp SRM với các luật pháp hiện hành. Ví dụ, việc thu giữ cacbon từ các nhà máy điện chạy bằng sinh khối có thể là đối tượng chịu sự điều khiển của cùng các luật định về môi trường và năng lượng, cũng giống như việc thu và giữ cacbon từ một nhà máy điện đốt than.

Phần dưới đây mô tả một số phương pháp CDR đã được kiểm chứng tốt hơn, đó là: thu giữ và cô lập cacbon, màu mỡ hóa đại dương, trồng rừng, và tăng cường phong hóa (enhanced weathering).

Hình 5: Một số ví dụ về cách tiếp cận CDR



Nguồn: Lawrence Livermore National Laboratory and GAO analysis of various sources

Thu giữ và cô lập cacbon

Thu giữ và cô lập cacbon (carbon capture and sequestration - CCS) có nghĩa là bắt và lưu trữ CO₂ để không cho nó thoát ra khí quyển. CCS là quá trình sử dụng công

nghe để khử CO₂ được giải phóng ra từ các nguồn do con người gây ra (anthropogenic sources) chứ không phải là nguồn CO₂ được thu giữ tự nhiên như một phần trong chu kỳ cacbon của Trái đất. Do sự phát xạ CO₂ từ các nguồn do con người gây ra đang liên tục làm tăng nồng độ CO₂ trong khí quyển, các công nghệ được sử dụng trong phương pháp CCS đang được ứng dụng đối với ba nguồn phát sinh, đó là: sinh khối, năng lượng sinh học, và nhiên liệu hóa thạch (chủ yếu là trong sản xuất điện).

Thông thường, công nghệ CCS được coi là một công nghệ geoeengineering chỉ khi nguồn phát thải là sinh khối hay năng lượng sinh học. Điều vẫn chưa rõ ràng là tại sao sự phân biệt trong việc gán cho CCS như một công nghệ geoeengineering lại phụ thuộc vào nguồn phát sinh mà từ đó cacbon được thu giữ, chứ không phải là dựa vào kết quả của nó, đó là làm giảm được lượng CO₂ phát thải vào khí quyển. Theo quan điểm này, CCS từ nhiên liệu hóa thạch có thể không được cho là một công nghệ geoeengineering bởi vì nhiên liệu hóa thạch được coi là dương tính cacbon (carbon-positive), trong khi năng lượng sinh học và sinh khối được coi là các nguồn cacbon trung tính hoặc cacbon âm tính.

Một sự can thiệp bổ sung có thể làm tăng thêm lượng CO₂ được cô lập. Sinh khối nếu không được sử dụng cho cây trồng hay sản xuất năng lượng có thể được đốt trong lòng đất hoặc ở sâu trong đại dương để làm chậm tốc độ CO₂ thoát vào khí quyển. Cũng có thể cô lập cacbon bằng cách nhiệt phân sinh khối thành than sinh học: một loại than củi được sản xuất dưới nhiệt độ cao sử dụng các phế thải từ cây trồng, phân gia súc, hay các vật liệu hữu cơ khác có tiềm năng lưu giữ cacbon trong đất từ hàng trăm đến hàng nghìn năm theo một ước tính (CRS Report R40186). Việc thu giữ cacbon quy mô lớn sử dụng sinh khối sẽ đòi hỏi một nguồn cung ứng sinh khối ổn định và một nơi để tích trữ.

Thu giữ (capturing) CO₂ tương đối dễ hiểu hơn so với cô lập (sequestering) CO₂. Tuy nhiên, công nghệ CCS đối với nhiên liệu hóa thạch cho đến nay vẫn chưa được ứng dụng ở phạm vi thương mại do thiếu sự khuyến khích về kinh tế hay một yêu cầu luật pháp bắt buộc phải giảm lượng phát thải CO₂. Cacbon đioxit đã được thu giữ trên quy mô nhỏ cho các ứng dụng thương mại từ một vài thập kỷ gần đây (để dùng cho sản xuất soda, nâng cao lượng dầu và khôi phục khí), nhưng không phải ở quy mô lớn cô lập CO₂ như một phương pháp giảm nhẹ biến đổi khí hậu lâu dài. Các ước tính hiệu quả thu giữ CO₂ được dựa một phần vào các nỗ lực phục hồi dầu mỏ và khí tự nhiên đã từng cô lập CO₂ trong vòng khoảng 30 năm. Có thể phải mất ít nhất từ 10 - 15 năm trước khi CCS đối với nhiên liệu hóa thạch sẵn sàng để triển khai thương mại.

Ngoài việc bẫy cacbon dựa vào cây trồng, phương pháp sản xuất năng lượng sinh học liên kết với thu giữ và cô lập CO₂ (BECS - Bioenergy generation coupled with CO₂ capture and sequestration) có thể tách được cacbon. BECS bao gồm ba giai đoạn:

gieo trồng một loại cây sinh khối như cỏ ba chẽ (switchgrass), thu hoạch để sản xuất nhiên liệu sinh học, và thu giữ và lưu trữ cacbon được giải phóng ra trong quy trình sản xuất. BECS được hy vọng sẽ sử dụng công nghệ tương tự như công nghệ CCS sử dụng để bẫy CO₂ từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch. Khi sinh khối được sử dụng để sản xuất điện, CO₂ giải phóng ra trong quá trình này có thể cô lập trong các kiến tạo địa chất, theo cùng một cách như cách được sử dụng trong một quy trình vận hành CCS đối với nhiên liệu hóa thạch.

BECS là một phương pháp CDR vẫn chưa được kiểm chứng bởi vì vẫn chưa có các thiết bị CCS ở quy mô thương mại tồn tại đối với cả nhiên liệu hóa thạch lẫn năng lượng sinh học. Nhiều bài học kinh nghiệm có thể học hỏi được từ ứng dụng CCS trong lĩnh vực nhiên liệu hóa thạch trong vòng vài năm tới sẽ được áp dụng cho BECS. Việc triển khai BECS có thể mất nhiều thời gian bằng hoặc dài hơn so với CCS trong nhiên liệu hóa thạch. Có một số ý kiến cho rằng BECS không thể triển khai đủ nhanh để có một tác động quan trọng đến sự thay đổi khí hậu.

Một trong những thách thức chủ yếu đối với việc triển khai công nghệ CCS đó là việc thiếu một khuôn khổ luật pháp để cho phép cô lập địa chất (lưu giữ) đối với CO₂. Một cơ cấu tích hợp là cần thiết để triển khai CCS ở quy mô lớn, cho dù là đối với nhiên liệu hóa thạch hay năng lượng sinh học. Cơ cấu này liên quan đến việc xác định ai sẽ là người sở hữu CO₂ đã cô lập, cách ly CO₂ ở đâu, cần xác định được những yếu tố nào có thể dẫn đến sự rò rỉ, xác định ai sẽ là người chịu trách nhiệm pháp lý nếu CO₂ đã cô lập bị rò rỉ, triển khai một kế hoạch giám sát và bảo dưỡng, và bên cạnh đó là việc triển khai một cơ sở hạ tầng đường ống vững chắc được thiết kế đặc biệt cho CO₂ sẽ được tách ra cùng với những thứ khác. Một số ý kiến cho rằng, nếu ứng dụng CCS trên quy mô lớn đối với cả nhiên liệu hóa thạch và năng lượng sinh học, như vậy sẽ có ít động cơ hơn để làm giảm việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Tuy nhiên, một sự gia tăng ở BECS có thể không phải đối mặt với cùng quan điểm đó. Hơn nữa, BECS có thể được coi là "cacbon âm tính" trong khi CCS từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch ít ra cũng thuộc loại dương tính cacbon nhẹ⁵. Ngoài ra, còn có một mối lo ngại rằng, việc lưu trữ CO₂ từ nhiên liệu hóa thạch, và có lẽ là cả năng lượng sinh học có thể dẫn đến việc làm ô nhiễm các nguồn nước ngầm. Vào năm 2010, Cơ quan Bảo vệ môi trường Mỹ đã hoàn thành một quy định trong đó đưa ra các yêu cầu đối với việc cô lập địa chất CO₂, sử dụng thẩm quyền cơ quan này được giao phó theo Luật nước uống an toàn 1974.

⁵ Nhiên liệu cacbon dương tính được khai thác từ các mỏ nhiên liệu hóa thạch và khi đốt cháy giải phóng CO₂ vào khí quyển. Nhiên liệu cacbon trung tính hấp thụ CO₂ trong quá trình tăng trưởng và giải phóng cùng một lượng cacbon ngược trở lại vào khí quyển khi đốt cháy. Nhiên liệu cacbon âm tính hấp thụ CO₂ khi chúng tăng trưởng và làm thoát ra một lượng cacbon ít hơn vào khí quyển khi chúng được sử dụng làm nhiên liệu, bất kể là thông qua việc đưa một phần sinh khối như than sinh học vào trong đất hay thông qua công nghệ CCS.

Màu mỡ hóa đại dương

Màu mỡ hóa đại dương là cách bổ sung thêm các chất dinh dưỡng như sắt vào đại dương để xúc tiến việc đưa cacbon vào trong thực vật phù du (phytoplankton). Thực vật phù du thực hiện quang hợp CO₂, giữ lại cacbon trong các tế bào của chúng, khi các tế bào chết lượng cacbon này vẫn còn lưu giữ và lắng sâu xuống dưới nước. Các nghiên cứu chỉ ra rằng với một tấn sắt được bổ sung vào một số nơi nhất định trong đại dương có thể tách được từ 30.000 đến 110.000 tấn cacbon từ không khí. Màu mỡ hóa đại dương được ước tính có chi phí khoảng từ 30 đến 300 USD đối với mỗi tấn cacbon được cách ly (Philip W. tr.216).

Tác động sinh thái, kinh tế và khí hậu học của việc màu mỡ hóa đại dương cả về ngắn và dài hạn đều không chắc chắn. Một số người cho rằng màu mỡ hóa đại dương có thể tăng cường nguồn cá và làm gia tăng sản xuất dimethylsulfide, một hóa chất có thể làm mát khí quyển nhưng cũng có những đặc tính không mong muốn nếu ở nồng độ cao. Một số khác lo ngại rằng, màu mỡ hóa đại dương có thể dẫn đến axit hóa đại dương, gia tăng phát xạ khí nhà kính, và làm giảm nồng độ oxy xuống đến mức một số loài không thể sinh sống. Các ý kiến chỉ trích cũng lập luận rằng màu mỡ hóa đại dương không phải là một cách hiệu quả để khắc phục sự thay đổi khí hậu, bởi vì phương pháp này đòi hỏi một sự tiến hành ở phạm vi rộng, lâu dài và dựa trên một cơ sở liên tục.

Các nghiên cứu hiện nay vẫn chưa khẳng định được rằng màu mỡ hóa đại dương sẽ có tác dụng như một chiến lược cô lập cacbon dài hạn. Nghiên cứu tiếp theo là cần thiết để trả lời cho một loạt các câu hỏi như: Liệu thực vật phù du có tăng đến số lượng đủ để cô lập được những khối lượng lớn CO₂ không? Sẽ duy trì được sự cô lập cacbon trong bao lâu? Những phá vỡ nào có thể xảy ra đối với hệ sinh thái biển? Hiện tại, vẫn chưa có các mô hình tương tự để so sánh xem điều gì có thể xảy ra nếu phương pháp màu mỡ hóa đại dương được triển khai ở quy mô lớn.

Một số người mừng tượng CO₂ được cách ly bằng màu mỡ hóa đại dương như một loại tín dụng cacbon tiềm năng có thể bán được như một sự bồi thường cacbon hay trao đổi trên thị trường môi trường. Hiện vẫn chưa có các khuôn khổ luật pháp chứng thực hay phản đối màu mỡ hóa đại dương vì mục đích để có được tín dụng cacbon. Như vậy, cho đến thời điểm hiện nay, bất kỳ một tín dụng cacbon nào được thu nộp cho màu mỡ hóa đại dương sẽ phải được sử dụng trên một thị trường cacbon tình nguyện.

Trồng rừng

Trồng rừng liên quan đến việc trồng các cây con (hoặc cây giống) tại những nơi không có cây cối trong nhiều năm, nói chung là một thập kỷ hoặc lâu hơn. Lợi ích chủ yếu của việc trồng rừng đối với sự thay đổi khí hậu đã được thảo luận trong các tài liệu nghiên cứu và chính sách đó là cô lập cacbon. Phương pháp này được

coi như một chiến lược thu giữ cacbon chủ yếu bởi vì các quần thể rừng có thể lưu trữ một lượng cacbon trong các thảm thực vật lớn hơn gấp 10 lần so với các quần thể phi lâm nghiệp và trong khoảng thời gian dài hơn (hàng thập kỷ đến hàng trăm năm). Các lợi ích khác bao gồm chống xói mòn, giá trị giải trí, nơi sinh sống của các loài hoang dã, và sản xuất hàng lâm sản. Trên quy mô lớn, trồng rừng có thể biến đổi khí hậu địa phương do làm tăng độ ẩm, thay đổi các mẫu hình mây, mưa, và làm giảm tốc độ gió. Các thách thức liên quan đến trồng rừng bao gồm đo đạc và báo cáo về tình hình thu giữ cacbon, chủ sở hữu đất không tự nguyện trồng cây trên mảnh đất của mình trong khoảng thời gian kéo dài, và một sự suy giảm dòng chảy (lưu lượng nước mưa) có thể tác động đến hệ sinh thái khu vực trồng rừng, và nhiều vấn đề khác. Trở ngại tiềm năng đối với việc thực hiện trồng rừng trên quy mô rộng bao gồm sự giải phóng bất ngờ CO₂ từ các vùng đất trồng rừng mới do tác động của tự nhiên (như cháy rừng, hạn hán), những thay đổi tương lai về quản lý rừng (như thu hoạch) có thể dẫn đến sự giải phóng cacbon, một chi phí phát sinh tiềm năng đối với việc trồng rừng và những ảnh hưởng tiềm năng khác tác động đến sản lượng cây trồng và giá hàng nông sản nếu những diện tích trồng trọt lớn được sử dụng để trồng rừng.

Việc trồng cây là điều rất phổ biến và được thực hành rộng rãi; trồng rừng là một hoạt động dự án được công nhận tuân theo Cơ chế Phát triển Sạch (Clean Development Mechanism - CDM) của Nghị định thư Kyoto. Khối lượng và mức độ cô lập CO₂ phụ thuộc vào chủng loại cây trồng, khí hậu, loại đất, công tác quản lý và các điểm đặc trưng của từng vùng. Tiềm năng cô lập CO₂ mỗi năm ước tính đạt được trong phạm vi từ 2,2 đến 9,5 tấn/mẫu. Có thể phải mất ít nhất là 20 năm để gặt hái được lợi ích cô lập cacbon, điều này phụ thuộc vào tỷ lệ tăng trưởng của cây trồng. Sự tích tụ cacbon trong những năm đầu tăng trưởng của cây là chậm và sẽ gia tăng trong thời gian sinh trưởng mạnh; ở đây có một vấn đề còn tranh cãi đó là liệu sự tích tụ cacbon sẽ vẫn tiếp diễn liên tục hay đạt đến đỉnh cao khi mà sự tăng trưởng gỗ bổ sung thực chỉ là tối thiểu.

Hầu hết các dự án trồng rừng đều được thực hiện trên những diện tích đất khó trồng trọt. Các mô hình cụ thể ước tính rằng tổng số 60 đến 65 triệu mẫu diện tích đất nông nghiệp của Mỹ có thể sẽ được chuyển hóa thành các vùng trồng rừng vào năm 2050, trong đó có từ 35 đến 50 triệu mẫu thuộc loại đất đai khó trồng trọt. Những thay đổi ở khí hậu có thể tác động đến việc các loài thực vật nào sẽ được trồng tại các nơi trồng rừng. Vì vậy, các loại cây rừng được trồng tại các dự án trồng rừng có thể không giống với các loài đã sinh trưởng tại những nơi đó trong quá khứ. Chi phí của một dự án trồng rừng có thể dao động trong phạm vi từ 65 đến 200 USD trên mỗi mẫu phụ thuộc một phần vào địa thế và việc sử dụng đất trước đó.

Tăng cường phong hóa

Khí Cacbonic được khử một cách tự nhiên nhưng chậm chạp trong khí quyển thông qua quá trình phân hóa (hay phân hủy) các loại đá silicat và cacbonat. Việc xúc tiến quá trình phong hóa, tức là tăng cường phong hóa, có thể khử được những khối lượng lớn CO₂ từ khí quyển. Các vật liệu bị phân hủy có chứa CO₂ đã cách ly từ một dự án tăng cường phong hóa có thể được lưu giữ sâu dưới đáy đại dương hoặc trong lòng đất.

Cho đến nay có rất ít tài liệu nói về cách làm thế nào để tiến hành dự án tăng cường phong hóa hay đề cập đến những tác động liên quan đến môi trường của phương pháp này. Một phương pháp được kiến nghị đó là rắc olivin một loại đá silicat đã bị tán vụn trên các diện tích đất trồng và rừng để thu giữ CO₂ và cải thiện chất lượng đất. Phương pháp này yêu cầu những khối lượng đá lớn cần được khai thác, xay nghiền và vận chuyển. Lợi ích chu kỳ cacbon vẫn còn chưa được tính toán. Những khối lượng lớn các nguồn lực bổ sung, như năng lượng và nước có thể sẽ cần thiết để thực hiện một dự án tăng cường phong hóa.

Các công trình nghiên cứu tiếp theo sẽ là cần thiết để đánh giá những ích lợi và trở ngại tiềm năng của công nghệ này. Các rào cản đối với tăng cường phong hóa bao gồm quy mô, chi phí, yêu cầu về năng lượng, và các hậu quả môi trường tiềm năng. Việc ra quyết định cần được tiến hành về các vấn đề như cần chuyển đổi loại đất đai nào, nơi tập trung vật liệu phân hủy và ai là người chi trả cho dự án. Ở đây có thể nảy sinh những tác động bất lợi đến chất lượng không khí, chất lượng nước và sự sống ở môi trường nước.

Điều khiển bức xạ ánh sáng mặt trời (SRM - Solar Radiation Management)

Hình 5: Ví dụ về cách tiếp cận SRM



Nguồn: Lawrence Livermore Laboratory and GAO analysis of various sources.

Các phương pháp điều khiển bức xạ ánh sáng mặt trời có tác dụng làm giảm hoặc làm chệch hướng một lượng bức xạ mặt trời chiếu đến bằng cách làm cho Trái đất trở nên phản chiếu (ánh sáng) hơn (có nghĩa là gia tăng suất phản chiếu - albedo) và không gây bất cứ một tác động nào đến tỷ lệ phát xạ khí nhà kính. Các phương pháp SRM liên quan đến việc làm thay đổi suất phản chiếu thông qua các phương pháp dựa trên mặt đất như phản quang sa mạc (đặt gương phản quang trên sa mạc), các phương pháp đám mây như làm trắng các đám mây (cloud whitening), các phương pháp tầng bình lưu như phun tầng bình lưu, và các phương pháp vũ trụ như đặt các tấm lá chắn. Hiệu quả của một phương pháp SRM phụ thuộc vào vị trí địa lý của nó, độ cao áp dụng (bề mặt, khí quyển, hay vũ trụ) và các đặc tính bức xạ của khí quyển và bề mặt.

Nếu chúng tỏ là có hiệu quả và đáng mong muốn, các phương pháp SRM có thể được triển khai nhanh hơn so với các phương pháp CDR nếu nảy sinh yêu cầu làm lạnh hành tinh một cách nhanh chóng. Các phương pháp SRM được mô tả về mặt lý thuyết là rẻ, nhanh và chưa hoàn chỉnh. Tuy nhiên, các phương pháp này vẫn chưa được kiểm chứng ở bất cứ quy mô nào. Một số ý kiến cho rằng chính phủ Mỹ cần tiến hành một chương trình nghiên cứu hoặc dự đoán tiềm năng với sự hợp tác quốc tế để đánh giá các công nghệ SRM trước khi triển khai ở một nước nào đó, nếu không có thể dẫn đến một loạt các hậu quả khó lường. Nghiên cứu có thể giúp nâng cao sự hiểu biết về tính khả thi của các cách tiếp cận SRM khác nhau, các cơ hội và các mặt hạn chế của chúng, và vai trò tiềm năng của chúng trong việc làm giảm nhẹ biến đổi khí hậu. Một số ý kiến khác thiên về bắt buộc phải tiến hành nghiên cứu SRM do những rủi ro môi trường nghiêm trọng dưới đây mà các phương pháp này có thể gây ra:

- Sự cố hệ thống. Nếu một kỹ thuật SRM bị phá vỡ hay bị hủy bỏ, khí hậu khi đó có thể sẽ trở nên ấm lên rất nhanh, khiến cho con người và thiên nhiên có rất ít thời gian để thích nghi.

- Những biến đổi khí hậu khu vực và theo mùa. Các kỹ thuật SRM có thể làm thay đổi các mẫu hình về lượng mưa, điều đó có thể dẫn đến những hậu quả đối với các hệ sinh thái và các quần thể xã hội bị tác động.

- Suy kiệt tầng ôzôn. Trong những tình huống nhất định, việc sử dụng các phương pháp SRM như việc phun sulfat son khí có thể dẫn đến sự suy kiệt tầng ôzôn, điều này sẽ cho phép các tia cực tím (UV) có hại chiếu tới đến Trái đất.

- Duy trì các loại khí nhà kính phi CO₂. Các kỹ thuật SRM được áp dụng trong tầng bình lưu hay trong vũ trụ sẽ làm giảm lượng bức xạ tia cực tím hướng đến khí quyển Trái đất, điều này có thể gây kéo dài thời gian tồn tại trong khí quyển của các loại khí nhà kính phi CO₂ nhưng lại ảnh hưởng mạnh hơn CO₂.

- Làm trệch hướng khỏi các giải pháp lâu dài hơn. Nếu các tập đoàn kết luận rằng các phương pháp SRM có thể mang lại một sự giảm nhẹ nhanh, họ sẽ đầu tư ít hơn vào

việc phát triển và triển khai các giải pháp giảm phát xạ khí nhà kính có tính lâu dài hơn.

- Vẫn còn là "ẩn số". Lịch sử về khí hậu Trái đất cho thấy rằng, những thay đổi nhỏ cũng có thể gây ra những biến đổi bất ngờ, làm nảy sinh các lo ngại về những tác động vẫn chưa rõ ràng của kỹ thuật geoenvironmental quy mô lớn.

Trong phần tiếp theo của tổng quan sẽ xem xét một số phương pháp SRM đã được thảo luận rộng rãi hơn, đó là: gia tăng suất phản chiếu, phun sơn khí, và gương phản xạ trong không gian.

Tăng cường suất phản chiếu (bề mặt và mây)

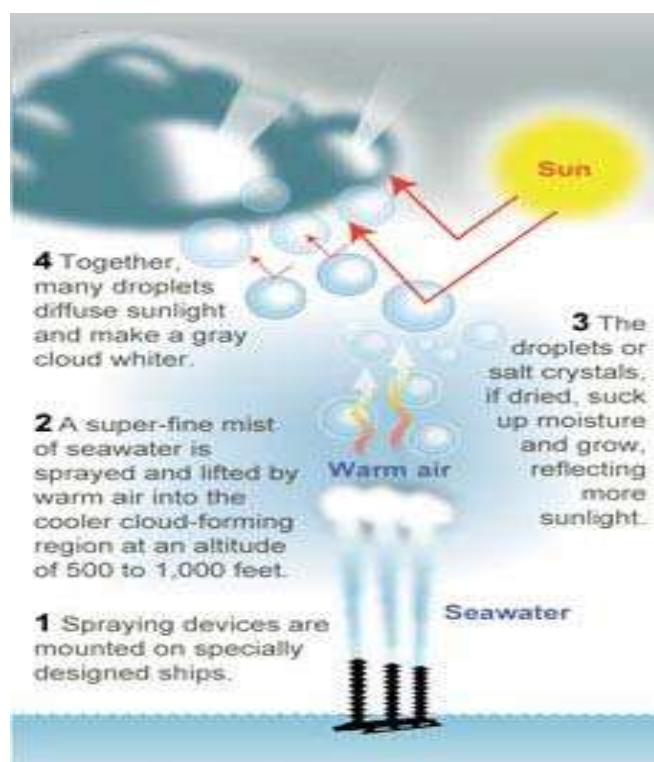
Một phương pháp được kiến nghị nhằm làm thay đổi nhiệt độ hành tinh đó là làm tăng hệ số phản chiếu, hay suất phản chiếu của các bề mặt nhất định. Việc gia tăng hệ số phản chiếu bề mặt sẽ có thể định hướng được nhiều bức xạ mặt trời hơn chiếu ngược trở lại không gian, như vậy có thể hạn chế sự gia tăng nhiệt độ. Các dạng bề mặt, các vùng được áp dụng và chi phí để tăng cường suất chiếu phản, tất cả đang được tiến hành nghiên cứu khảo sát.

Một trong những mục tiêu được thảo luận rộng rãi liên quan đến việc gia tăng suất phản chiếu đó là các vùng đô thị. Việc áp dụng các phương pháp tăng cường suất phản chiếu tại các vùng đô thị, như sơn mái nhà và lát bề mặt màu trắng trên một cơ sở toàn cầu được ước tính có chi phí nhiều tỷ đôla về nguyên vật liệu và lao động, nhưng có thể tiết kiệm chi phí năng lượng. Ví dụ, Cục Quản lý An ninh Hạt nhân Quốc gia (NNSA) thuộc Bộ Năng lượng Mỹ (DOE) đã làm giảm được các chi phí sưởi ấm và làm mát các tòa nhà nhờ vào việc làm giảm được đến 70% việc lọc lại mái nhà mỗi năm do lắp đặt mái lạnh (cool roofs). Một trở ngại đối với phương pháp gia tăng hệ số phản chiếu của mái nhà và các diện tích lát bao gồm sự chói lóa gây khó chịu, mối quan tâm về thẩm mỹ của mái nhà và các diện tích lát phụ thuộc vào vị trí của chúng, và việc gia tăng hệ số phản chiếu có thể mất tác dụng nếu mái nhà được duy tu kém, và chi phí năng lượng gia tăng trong điều kiện khí hậu lạnh hơn do lợi ích sưởi ấm vào mùa đông bị giảm. Ngoài ra, nếu suất phản chiếu bề mặt tăng cường đối với các diện tích lát được thực hiện một cách quyết liệt, ở đây có thể dẫn đến giảm sử dụng asphalt, một loại cặn dầu mỏ.

Các phương pháp bổ sung đang được cân nhắc để tăng cường suất phản chiếu bề mặt. Một trong những kiến nghị đó là biến đổi thực vật thông qua kỹ thuật di truyền nhằm làm tăng thêm suất phản chiếu với chi phí thực hiện tương đối thấp. Theo một số nhận định cho biết, công nghệ này có thể sẽ phải mất ít nhất là một thập kỷ để các loài thực vật có suất phản chiếu gia tăng sẵn có về mặt thương mại. Một kiến nghị thứ hai đó là bao phủ các vùng biển bằng bề mặt phản chiếu để tăng cường anbedo. Ở đây nảy

sinh vấn đề về nên chọn nơi nào trên đại dương để tiến hành một dự án tăng cường anbedo và tác động của nó như thế nào tới đời sống của các loài dưới nước.

Làm trắng các đám mây là một phương pháp khác đang được kiến nghị nhằm nâng cao suất phân chiếu. Phương pháp này tiến hành phát tán các nhân ngưng tụ (cloud-condensation nuclei - có nghĩa là các hạt muối biển nhỏ) trong các đám mây ở những nơi cần thiết trên một cơ sở lâu dài (xem hình 4). Có thể sử dụng các máy bay, tàu thủy hay các con thuyền không người lái điều khiển bằng vô tuyến để phân tán các hạt nhân. Các vệ tinh được đề cử như một cách thức để đo suất phân chiếu của mây và quyết định khối lượng làm mát cần thiết. Việc phun làm trắng các đám mây có thể tạm dừng một cách nhanh chóng nếu phát sinh các hậu quả bất ngờ, các đặc tính đám mây được cho là sẽ trở lại bình thường chỉ trong vòng vài ngày.



Hình 6: Sơ đồ làm trắng đám mây

Những tác động dài hạn của việc triển khai phương pháp làm trắng đám mây cho đến nay vẫn chưa được hiểu hết một cách đầy đủ. Phụ thuộc vào quy mô của dự án, các hệ sinh thái trên biển có thể bị xáo trộn. Nghiên cứu tiếp theo là cần thiết đối với việc phát triển máy phát phun (spray generator) và nghiên cứu sâu về các tác động tiềm năng đến mẫu hình các dòng chảy và lượng mưa. Ngoài ra, khối lượng làm mát cần tiến hành và quyết định địa điểm cũng yêu cầu cần nghiên cứu sâu hơn. Một công

trình nghiên cứu đã xác định bờ biển phía tây thuộc khu vực Bắc Mỹ, cùng với một số nơi khác, là nơi có thể tăng cường suất phân chiếu đám mây một cách có hiệu quả.

Phun son khí

Phun son khí có nghĩa là phát tán các hạt son khí, như Sulfua hydro (H_2S) hay điôxit lưu huỳnh (SO_2) vào tầng bình lưu để định hướng bức xạ mặt trời ngược trở lại vào trong không gian hay để hấp thụ nhiệt, qua đó có thể làm mát Trái đất. Các máy bay quân sự, tàu hải quân hay các khinh khí cầu tầng bình lưu có thể sử dụng để phun xịt các hạt son khí. Chi phí hàng năm đối với phương pháp phun các hạt lưu huỳnh sử dụng máy bay được ước tính lên đến hàng tỷ đôla, phụ thuộc vào khối lượng, địa điểm và chủng loại hạt Lưu huỳnh được phun vào tầng bình lưu. Tuy nhiên, vẫn chưa có bất kỳ thử nghiệm nào để xác định liệu các dự đoán trên lý thuyết có trùng hợp với thực tế hay không.

Phương pháp phun son khí được mô phỏng theo các vụ phun trào núi lửa lớn. Thực sự là nhiều nghiên cứu đã tiến hành mô phỏng phương pháp phun son khí dựa trên các dữ liệu được thu thập và phân tích từ vụ phun trào núi lửa tại vùng Núi Pinatubo ở Philippin năm 1991, sự kiện này đã làm giảm nhiệt độ toàn cầu, mặc dù sự phân bố không xảy ra đồng đều giữa các khu vực. Hạt bụi lưu huỳnh được giải phóng ra từ phun trào núi lửa là hoàn toàn ngẫu nhiên, và tác động làm mát đã kéo dài trong một vài năm. Phun son khí lẽ ra phải thực hiện nhiều lần sau nhiều thập kỷ hay thế kỷ để bù đắp cho độ cường bức xạ gây ra bởi khí nhà kính do khoảng thời gian có hiệu quả là ngắn của phương pháp phun son khí.

Lợi ích và rủi ro của phương pháp phun son khí sẽ không phân bố đồng đều giữa các khu vực trên toàn cầu. Một ích lợi tiềm năng, bổ sung thêm vào việc làm mát hành tinh, đó là có thể làm giảm hoặc đảo ngược sự tan băng trên biển và đất liền (trong chừng mực mà các hạt son khí vẫn còn chưa lắng xuống và làm tối thắm tuyết và băng). Một số rủi ro có thể là hạn hán ở châu Phi và châu Á dẫn đến một sự tổn thất ở năng suất nông nghiệp, tác động khí nhà kính sẽ tích tụ từ việc vận chuyển son khí đến nơi cần phun, suy kiệt ô zôn tầng bình lưu, suy yếu ánh sáng mặt trời ảnh hưởng đến khai thác năng lượng mặt trời, bầu trời ít xanh hơn và gây trở ngại cho thiên văn quang học Trái đất (Earth-based optical astronomy).

Gương phản xạ trong không gian

Gương phản xạ trong không gian là một phương án công nghệ geoeengineering lý thuyết, liên quan đến việc đặt những tấm khiên khổng lồ trong vũ trụ để làm giảm lượng bức xạ mặt trời chiếu tới. Hiệu quả của những tấm lá chắn này sẽ rất khác nhau dựa vào thiết kế, vật liệu, địa điểm, khối lượng và việc bảo dưỡng chúng. Các dạng vật liệu làm tấm chắn dự kiến bao gồm kính luna (lunar glass), lưới sợi nhôm (aluminium

thread netting), đĩa kim loại phản chiếu, và đĩa khúc xạ. Vị trí để đặt các tấm chắn được kiến nghị bao gồm quỹ đạo thấp của Trái đất và điểm Lagrange số 1 (L1)⁶.

Nhiều khía cạnh của việc sử dụng các tấm gương phản chiếu không gian đòi hỏi cần phải nghiên cứu sâu hơn. Đặc biệt, nghiên cứu tiếp theo là cần thiết để giải quyết các vấn đề như chi phí, các bước thích hợp để thực hiện trong đó có việc vận chuyển lên địa điểm mong muốn; các yêu cầu bảo dưỡng; tiêu hủy các tấm chắn; và các tác động sinh thái. Nhiều câu hỏi đặt ra vẫn chưa trả lời được, đó là: Liệu các tấm gương phản chiếu khi được triển khai có làm thay đổi khí hậu ở quy mô toàn cầu hay khu vực không? Liệu trình độ khoa học đằng sau việc triển khai các tấm gương đã đủ trưởng thành để có thể chỉ ra nơi nào cần đến sự bảo vệ của các tấm chắn nhất? Có thể phải mất nhiều thập kỷ để chế tạo và triển khai một tấm chắn. Nếu các tấm chắn bị hỏng hóc hay phải gỡ bỏ, nhiệt độ ấm hơn sẽ xảy ra nhanh sau đó, nếu tỷ lệ phát xạ CO₂ tiếp tục tăng. Một công trình nghiên cứu chỉ ra rằng việc phóng một tấm chắn để làm đảo ngược hoàn toàn sự ấm lên toàn cầu có thể có chi phí đến vài nghìn tỷ đôla, được thực hiện trong khoảng thời gian hơn 25 năm.

Các yêu cầu nghiên cứu trong tương lai

Nghiên cứu geoen지니어ing sẽ liên quan đến nhiều lĩnh vực và là một nỗ lực phối hợp để cung cấp một cách đầy đủ sự thử nghiệm hay sự triển khai của bất cứ một chiến lược nào như đã được đề cập ở trên. Trong khi một số chiến lược như quản lý rừng có một cơ sở nền tảng khoa học rộng hơn so với các lĩnh vực khác, một sự hiểu biết cao về hiệu quả và những tác động tiềm năng của tất cả các phương án kiến nghị là điều cần thiết. Dưới đây là một loạt các lĩnh vực nghiên cứu được cho là cần thiết nhằm hiểu biết rõ hơn các quy trình vật lý và hóa học, và đánh giá tính khả thi về mặt kỹ thuật và tài chính, các yêu cầu kỹ thuật, và những tác động liên quan đến môi trường, sinh thái và xã hội của các chiến lược geoen지니어ing khác nhau. Các lĩnh vực nghiên cứu này đã được đa số các chuyên gia về khoa học trái đất và kỹ thuật khí hậu nhất trí coi đó như cơ sở nền tảng đối với một hay nhiều chiến lược chủ yếu được kiến nghị. Chúng bao gồm, nhưng không phải chỉ giới hạn ở các lĩnh vực dưới đây:

- Giám sát, tính toán và thẩm định khí nhà kính;
- Mô hình hóa chu trình thủy văn;
- Lập mô hình và giám sát chất lượng nước và không khí;
- Động lực học và vật lý học khí quyển;
- Động lực học và vật lý học đại dương và hồ;

⁶ Điểm Lagrange là những điểm ảo trong vũ trụ, tại đó các vật thể được phóng lên từ Trái đất chỉ chịu tác động bởi trọng lực, về mặt lý thuyết là không thay đổi trong mối tương quan đến hai vật thể lớn hơn. Điểm Lagrange 1 (L1) có vị trí cách Trái đất xa hơn gấp bốn lần so với mặt trăng.

- Thành phần hóa học khí quyển (như khí cacbonic, ôzôn, hơi ẩm, và các loại khí nhà kính khác như metan);
- Sinh học đại dương, mặt đất và các hệ sinh thái;
- Các loài thực vật và động vật xâm lấn;
- Đánh giá và quản lý rủi ro;
- Kỹ thuật hóa cơ điện;
- Khoa học môi trường các hệ thống trái đất, trong đó có lập mô hình hóa;
- Các hệ thống thời tiết, bao gồm cả các chu trình gió mùa;
- Các ảnh hưởng tác động đến tầng ôzôn;
- Tác động của thực tiễn hoạt động lâm và nông nghiệp đến phát xạ khí nhà kính;
- Than sinh học;
- Cô lập cacbon trên mặt đất;
- Thực vật phù du;
- Axit hóa đại dương và công nghiệp hóa chất;
- Các chất hấp thụ cacbon có khả năng tái chế;
- Chụp ảnh địa chất/địa chấn;
- Đo lường bức xạ;
- Vật lý học vi mô đám mây;
- Động lực học địa hóa và khoáng hóa cacbon;
- Động lực học và nhiệt động lực học băng biển;
- Bộ gen học;
- Sản xuất và sử dụng năng lượng.

Các công cụ cần thiết nhằm hỗ trợ cho các yêu cầu nghiên cứu trên bao gồm, nhưng không chỉ giới hạn ở những lĩnh vực sau:

- Các hệ thống tính toán tính năng cao về lập mô hình hóa;
- Các phương tiện giám sát thời tiết và khí hậu, trong đó có các vệ tinh, trang thiết bị đo lường mặt đất và tại chỗ;
- Các hệ thống giám sát thay đổi sử dụng đất, bao gồm cả các vệ tinh môi trường;
- Hệ thống các công cụ lấy mẫu nước phân tán đối với cả nước ngọt và nước biển;
- Các dụng cụ chụp ảnh địa chất, như kỹ thuật viễn thám quang phổ;
- Các phòng thí nghiệm hóa học để đo đạc và tìm hiểu vai trò của ngành hóa chất trong hệ Trái đất;

- Các hệ thống quan trắc và phòng thí nghiệm sinh học và sinh thái;
- Các phòng thí nghiệm nghiên cứu kỹ thuật có khả năng đánh giá thử nghiệm, thử nghiệm tại chỗ, và đánh giá các khái niệm kỹ thuật khí hậu khác nhau.

3. Chính sách công nghệ quốc gia liên quan đến geoengineering

Các công nghệ geoengineering nhằm mục đích làm biến đổi sự cân bằng năng lượng của Trái đất để qua đó có thể làm giảm nhiệt độ và chống lại sự thay đổi khí hậu do tác động của con người gây ra (anthropogenic climate change) bằng những biến đổi ở quy mô lớn và có chủ ý. Việc thực hiện một số công nghệ có thể kiểm soát được ngay tại chỗ, trong khi một số công nghệ khác có thể yêu cầu nỗ lực thực hiện quy mô toàn cầu. Ngoài ra, việc một công nghệ có thể kiểm soát hay thực hiện được hay không lại rất khác biệt về chủng loại công nghệ. Hiện nay nghiên cứu về các phương pháp geoengineering vẫn còn ít, và không có một chương trình nghiên cứu trực tiếp lớn nào được tiến hành. Các tài liệu đã qua đánh giá chuyên môn vẫn còn hiếm và việc triển khai công nghệ, kể cả thông qua các thử nghiệm tại chỗ được kiểm soát lẫn nỗ lực thương mại vẫn còn rất nhỏ. Hầu hết các nhà giám sát đều nhất trí rằng cần tiến hành nhiều nghiên cứu hơn là điều cần thiết để kiểm nghiệm tính khả thi, hiệu quả, chi phí, những tác động xã hội và môi trường, những hậu quả không mong muốn có khả năng xảy ra của các công nghệ geoengineering trước khi triển khai ở quy mô lớn; một số ý kiến khác phản đối việc khảo sát các phương án quá mạo hiểm. Tình trạng không chắc chắn đã khiến một số nhà hoạch định chính sách phải cân nhắc sự cần thiết và vai trò của sự giám sát chính phủ để chỉ đạo nghiên cứu về ngắn hạn và để theo dõi sự triển khai tiềm năng trong tương lai dài hạn. Các cơ cấu điều hành như vậy, kể cả trong nước và quốc tế đều có thể vừa hỗ trợ hay cũng có thể kiểm chế các hoạt động geoengineering, phụ thuộc vào các quyết định của các nhà hoạch định chính sách. Do sự phát triển công nghệ và những cân nhắc chính sách về geoengineering đều còn ở giai đoạn ban đầu, vì vậy có nhiều vấn đề về điều hành vẫn chưa có câu trả lời, đó là:

- Những yếu tố rủi ro và những cân nhắc chính sách nào cần được đưa vào trong các cuộc thảo luận xoay quanh các hoạt động geoengineering và về sự giám sát chính phủ?
- Sự giám sát chính phủ về các hoạt động geoengineering cần xuất phát từ quan điểm nào?
- Nếu như có một sự giám sát chính phủ thì sự giám sát đó được thực hiện dưới hình thức nào?
- Nếu như có sự giám sát chính phủ, thì ai sẽ là người chịu trách nhiệm?
- Nếu như hoạt động NC-TK được nhà nước tài trợ, thì hoạt động đó cần có quy mô ở mức độ nào và liên quan đến những lĩnh vực chuyên ngành nào?

Các yếu tố rủi ro

Là một lĩnh vực công nghệ mới và đang nổi có tiềm năng giải quyết thách thức về biến đổi khí hậu, các công nghệ geoenvironment có chứa những rủi ro và những điều không chắc chắn. Nhìn từ góc độ nghiên cứu, nguy cơ thường tiềm ẩn ở tính không chắc chắn của công nghệ (có nghĩa là nguy cơ thất bại, rủi ro, hay những hậu quả không lường trước). Tuy nhiên, nhiều nhà nghiên cứu tin tưởng rằng mỗi nguy hiểm lớn nhất ở các hoạt động geoenvironment có thể nằm ở tình trạng không chắc chắn về xã hội, đạo đức, luật pháp, và chính trị liên quan đến sự triển khai. Ngoài ra, trước những yếu tố rủi ro đó, ở đây có một lập luận cho rằng các cơ chế thích hợp về giám sát chính phủ cần được thiết lập trước khi chính phủ và các cơ quan hữu quan tiến hành các bước cần thiết thúc đẩy các công nghệ geoenvironment và trước khi các dự án geoenvironment mới được bắt đầu. Tính không chắc chắn đằng sau các công nghệ tạo nên sự không rõ ràng rằng, những phương pháp nào, nếu có, có thể được coi là đủ trưởng thành đến mức có đủ hiệu quả, đủ điều kiện, an toàn, và đúng thời điểm để đảm bảo sự triển khai tiềm năng. Một số các yếu tố rủi ro nghiêm trọng hơn liên quan đến geoenvironment được liệt kê như sau:

- *Tình thế tiến thoái lưỡng nan trong kiểm soát công nghệ.* Một sự bế tắc về phân tích ẩn chứa trong tất cả các công nghệ mới nổi đó là các nguy cơ tiềm ẩn có thể nhìn thấy trước trong giai đoạn thiết kế nhưng chỉ có thể được kiểm chứng và giải quyết thông qua nghiên cứu, triển khai và thao diễn thực. Điều lý tưởng là các biện pháp an toàn thích hợp cần được sẵn sàng trong giai đoạn khái niệm hóa và triển khai ban đầu, nhưng việc dự đoán sự tiến hóa của một công nghệ mới là điều khó khăn. Vào thời điểm một công nghệ đã được triển khai rộng rãi, sẽ là điều không thể nếu muốn thiết lập sự giám sát như mong muốn và các điều khoản dự phòng quản lý rủi ro mà không gây những phá hủy lớn đến các lợi ích đã được thiết lập. Ở đây đòi hỏi tính linh hoạt để vừa hỗ trợ cho nghiên cứu điều tra và vừa hạn chế tác động có hại tiềm năng do triển khai.
- *Tính thuận nghịch.* Việc giảm nhẹ rủi ro phụ thuộc vào khả năng có thể dừng một chương trình công nghệ và triệt tiêu được những tác động bất lợi của nó chỉ trong một thời gian ngắn. Về nguyên tắc, tất cả các phương án geoenvironment có thể từ bỏ bằng một thông báo ngắn, với một sự chấm dứt tức thì các ảnh hưởng khí hậu trực tiếp hoặc cũng có thể với một khoảng thời gian trễ ngắn sau khi hủy bỏ. Tuy nhiên, vấn đề về tính thuận nghịch không phải chỉ áp dụng đối với bản thân các công nghệ. Trước tầm quan trọng của những điều chỉnh và phản hồi trong nội tại của hệ thống khí hậu, mà vẫn còn chưa được hiểu một cách hoàn chỉnh, điều vẫn còn chưa chắc chắn là tất cả các tác động phụ (thứ

cấp) từ việc triển khai quy mô lớn sẽ kết thúc một cách ngay tức thì. Hơn nữa, các lựa chọn được thực hiện liên quan đến các phương pháp geoenvironment có thể ảnh hưởng đến các lựa chọn kinh tế, xã hội và công nghệ khác trong lĩnh vực khoa học khí hậu. Ví dụ như, việc xúc tiến các phương án geoenvironment thay cho việc giảm bớt một cách có hiệu quả phát xạ khí nhà kính có thể là nguyên nhân phát sinh một số các tác động bất lợi, trong đó có sự axit hóa đại dương, gây sức ép lên tính đa dạng sinh học, những cú sốc nhạy cảm khí hậu (climate sensitivity shock), và các hậu quả không thể đảo ngược khác. Hơn nữa, việc đầu tư về tài chính vào cơ sở hạ tầng vật chất để hỗ trợ geoenvironment có thể tạo nên một sự phản đối kinh tế mạnh mẽ đối với việc đào chiều các hoạt động nghiên cứu và triển khai.

- *Công nghệ đóng kín (encapsulated)*. Việc giảm thiểu rủi ro còn phụ thuộc vào việc liệu một chương trình công nghệ có được thiết kế theo kiểu môđun và có thể kiểm soát được hoặc liệu nó có liên quan đến việc giải phóng vật chất vào môi trường rộng lớn hơn hay không. Vấn đề này được đặt trong bối cảnh ô nhiễm (có nghĩa là các công nghệ đóng kín thường được coi là có "đạo đức" hơn do chúng được cho là phi ô nhiễm). Nhiều công nghệ geoenvironment rõ ràng là không thuộc loại gắn kín (non-encapsulated), sự vận hành và triển khai chúng trong môi trường rộng lớn hơn có thể dẫn đến những điều không chắc chắn về kỹ thuật, những tác động đến các thành phần không tham gia và các lựa chọn chính sách phức tạp. Nhưng các công nghệ đóng kín còn có thể định vị các tác động môi trường, phụ thuộc vào bản chất, độ lớn và địa điểm của ứng dụng. Sự cần thiết về hành động điều tiết là có thể nảy sinh do những tác động gián tiếp của các hoạt động đến nông lâm nghiệp, các loài và môi trường sinh sống, cũng như từ những tác động trực tiếp của vật chất được giải phóng vào khí quyển hay các hệ sinh thái biển.
- *Sự tham gia của thương mại (commercial involvement)*. Vai trò của sự tham gia của khu vực tư nhân trong việc phát triển và xúc tiến geoenvironment có thể là điều gây tranh cãi. Khía cạnh liên quan đến thương mại, trong đó có sự cạnh tranh, có thể là tích cực bởi vì nó huy động các hoạt động đổi mới và đầu tư vốn, điều có thể dẫn đến một sự phát triển các công nghệ có hiệu quả hơn và với chi phí ít tốn kém hơn, với tốc độ nhanh hơn so với nếu được thực hiện trong khu vực công. Tuy nhiên, sự tham gia của thương mại có thể bỏ qua hoặc sao lãng việc đánh giá các rủi ro môi trường, kinh tế, xã hội và có xu hướng thiên về cái gọi là "hành vi kinh doanh thiếu trách nhiệm". Sự tham gia của khu vực tư nhân có khả năng sẽ cần đến một số dạng tài trợ công và việc định giá phát xạ khí nhà kính để khuyến khích đầu tư, cũng như những cân nhắc bổ

sung bao gồm các mô hình sở hữu, quyền sở hữu trí tuệ, và các cơ chế thương mại và chuyển giao liên quan đến việc phổ biến các công nghệ.

- *Sự tham gia công.* Hậu quả của geoenvironment, bao gồm cả những ích lợi và rủi ro được bàn đến ở trên, có thể tác động đến người dân và các cộng đồng trên cả thế giới. Quan điểm của các chính phủ về geoenvironment và sự tham gia của khu vực nhà nước vào sự hình thành, phát triển và sự thực hiện điều hành như đã được kiến nghị có thể có một mối liên quan quyết định đến tương lai của các công nghệ. Những nhận thức về các nguy cơ rủi ro, mức độ tin cậy, sự minh bạch trong các hành động, các điều khoản về nghĩa vụ pháp lý và đền bù, và hiệu quả kinh tế từ đầu tư có thể đóng một vai trò quan trọng trong tính khả thi chính trị của công nghệ geoenvironment. Sự chấp nhận của công chúng có thể yêu cầu một đối thoại rộng lớn hơn giữa các nhà khoa học, nhà hoạch định và công chúng.

Các phương án chính sách

Do các hoạt động geoenvironment chủ yếu tác động đến khí hậu hành tinh, các hậu quả của chúng cần được cân nhắc trong việc hoạch định chính sách ở cả cấp quốc gia lẫn quốc tế. Vì vậy, cho dù một đất nước hay một khu vực cho rằng các hoạt động này, và các hậu quả tiềm năng của chúng, là có thể chấp nhận sẽ phụ thuộc không chỉ vào các cơ sở khoa học và kỹ thuật của công nghệ geoenvironment, mà còn cả một loạt các yếu tố xã hội, luật pháp và chính trị rất khác nhau giữa các nước và các nền văn hóa. Ví dụ, trong khi một số có thể nhìn nhận geoenvironment thông qua các lăng kính các mối quan tâm về tín ngưỡng và đạo đức về các tác động tiềm năng của chúng, thì một số khác lại có thể cảm nhận được nguy cơ của việc không tác động đến khí hậu là quá lớn, vì thế mà việc kiểm chế các hoạt động geoenvironment là điều nguy hiểm về đạo đức cũng như việc xúc tiến và tham gia vào các hoạt động geoenvironment vậy.

Quan điểm của công chúng về geoenvironment là điều khó đánh giá ở giai đoạn ban đầu này. Nó có khả năng tiến triển khi có thêm thông tin và có khả năng thay đổi phụ thuộc vào công nghệ cụ thể đang được thảo luận. Tuy nhiên, một báo cáo của Hội Hoàng gia Anh năm 2009, được coi là một phân tích toàn diện đầu tiên về các công nghệ geoenvironment đã xác định một cách rộng rãi ba phạm trù quan điểm về triển vọng trong cộng đồng khoa học về việc triển khai các công nghệ geoenvironment như sau:

- Geoenvironment là sự thao tác nguy hiểm về các hệ thống Trái đất và vì thế về bản chất là trái với đạo lý;
- Geoenvironment hoàn toàn là một chính sách bảo hiểm để đề phòng sự thất bại lớn trong các phương án giảm nhẹ;

- Geoengineering sẽ giúp lấy lại được những khoảng thời gian đã mất trong các cuộc đàm phán giảm nhẹ quốc tế.

Bảng 1 dưới đây xác định và giải thích các cơ sở khoa học liên quan đến nhiều triển vọng về geoengineering đã từng được phát biểu từ trước đến nay.

Bảng 1: Các cơ sở khoa học về các triển vọng khác nhau dựa trên geoengineering

| Mối quan tâm chính | Ý kiến ủng hộ | Ý kiến phản đối |
|---------------------------------|--|---|
| Tính không chắc chắn về khí hậu | Những bất định ở khí hậu Trái đất có thể dẫn đến thảm họa thay đổi khí hậu và bắt buộc phải triển khai các công nghệ geoengineering. Việc nghiên cứu, lập mô hình hóa một cách phù hợp, thử nghiệm tại chỗ và đánh giá là cần thiết để thu thập bằng chứng thực nghiệm chuẩn bị cho và đề phòng môi nguy hiểm. | Việc thiếu thông tin về hệ khí hậu Trái đất tạo nên sự nguy cơ về kỹ thuật, chính trị, xã hội và kinh tế trong các hoạt động geoengineering. Việc triển khai các công nghệ còn chưa rõ ràng có thể dẫn đến những hậu quả không lường. Để thận trọng, các công nghệ này cần được đánh giá một cách đầy đủ về các tác động bất lợi tiềm năng đối với môi trường hay xã hội trước khi được triển khai và một cách tiếp cận "phòng ngừa" cần được áp dụng đối với các công nghệ có thể gây ra mối đe dọa nghiêm trọng về sự phá hủy không thể đảo ngược. Một số công nghệ một khi được triển khai, có thể bị các đối tượng thù địch sử dụng theo cách bất lợi và gây ra các mối đe dọa đến an ninh. |
| Giảm nhẹ phát thải khí nhà kính | Các nỗ lực giảm nhẹ hiện nay là quá chậm hoặc không đủ để đạt được sự suy giảm phát xạ | Các hoạt động geoengineering có thể duy trì tình trạng "mọi việc đầu lại vào đây" và làm yếu đi |

| | | |
|--|---|--|
| | <p>cần thiết để làm giảm sự tích tụ CO₂ về dài hạn và tránh được những thay đổi nguy hiểm đối với khí hậu. Các công nghệ geoeengineering có thể yêu cầu gia tăng các chiến lược giảm nhẹ hiện tại hay thay thế các (chiến lược) thất bại với mục đích là để ngăn ngừa một khủng hoảng khí hậu tiềm năng.</p> | <p>các nỗ lực giảm nhẹ thông thường (quan điểm "mối nguy đạo đức"). Về khía cạnh thay đổi khí hậu, điều này có thể dẫn đến việc một số người sớm thông qua cho rằng geoeengineering mang lại một sự "bảo đảm" chống lại khủng hoảng và có thể khuyến khích các cổ đông hành động thiếu thận trọng hơn.</p> |
| <p>Chi phí của các hoạt động geoeengineering</p> | <p>Chi phí của các hoạt động geoeengineering có thể là rất nhỏ so với chi phí kinh tế của các chiến lược giảm nhẹ hay thích nghi. Sự đổi mới công nghệ và khả năng kinh doanh sẽ chỉ làm giảm hơn các chi phí này.</p> | <p>Khó có thể đánh giá được chi phí thực của các kế hoạch geoeengineering do tình trạng không chắc chắn về những tác động phụ tiềm năng. Đầu tư trong các cơ chế thị trường có thể gây bóp méo nghiên cứu geoeengineering và triển khai chúng thay bằng tạo điều kiện thúc đẩy. Các quốc gia, các doanh nghiệp và thậm chí là các cá nhân có tiềm lực theo đuổi geoeengineering có thể bị thu hút để làm điều đó vì những suy tính kinh doanh và thương mại, và có thể bỏ qua hay sao lãng việc đánh giá rủi ro về những tác động kinh tế, xã hội và môi trường.</p> |
| <p>Lập kế hoạch đối phó về thay đổi khí hậu</p> | <p>Cả xã hội và cộng đồng khoa học đều có nghĩa vụ đầu tư đầy đủ tri thức và nguồn lực vào geoeengineering, điều đó có thể coi như một kế hoạch đối phó</p> | <p>Các xã hội ít khi đầu tư một cách thỏa đáng cho các kế hoạch đối phó. Các tổ chức doanh nghiệp và đổi mới hiếm khi huy động bản thân để đưa các công nghệ phức</p> |

| | | |
|---|--|---|
| | <p>trong trường hợp khẩn cấp về khí hậu. Về bản chất việc tiến hành nghiên cứu không phải là điều tồi tệ khi mà thông tin về các công nghệ geoenvironment có sẵn để dự phòng.</p> | <p>tạp lên kế "xếp xó". Sự tán thành của chính phủ có thể quyết định một cách vội vã rằng các công nghệ geoenvironment là có thể chấp nhận; và trước hiện trạng mới mẻ của sự hiểu biết trong khoa học, một sự thực hiện vội vàng có thể dẫn đến việc những kiến nghị có tiềm năng nguy hiểm được xúc tiến một cách sai lầm trong khi các kỹ thuật có tiềm năng hữu ích lại bị bỏ qua.</p> |
| <p>Điều hành công nghệ và việc triển khai chúng</p> | <p>Nếu thiếu các khuôn khổ thích hợp và giám sát, các công nghệ geoenvironment có thể được nghiên cứu và triển khai đơn phương bởi các thành phần thuộc khu vực nhà nước hoặc tư nhân gây phương hại đến các nước khác hay các cộng đồng dân số khác vốn không tán thành thành dự án geoenvironment. Trong hoàn cảnh đó, những người bị tổn hại có thể cảm thấy không thể sửa chữa tổn hại và cũng không thể bắt người gây ra có nghĩa vụ đối với thiệt hại phát sinh. Ngoài ra, nếu thiếu sự điều hành, các hoạt động geoenvironment có thể "không đồng nhất về không gian", điều đó có thể ảnh hưởng một cách không cân đối đến các dân số và các hệ sinh thái cụ thể.</p> | <p>Nếu các chính phủ lựa chọn việc cấm hoặc hạn chế căn bản geoenvironment, họ có thể gây kìm hãm những người có khả năng nhất về thử nghiệm, đánh giá và triển khai các công nghệ này một cách có trách nhiệm và vì thế lại đẩy geoenvironment vào tay những người hành động thiếu minh bạch và không đáng tin cậy. Hơn nữa, sự can thiệp quá nhiều của chính phủ có thể gây khó khăn cho các hoạt động thử nghiệm, đổi mới và khả năng khởi nghiệp ở các công nghệ có thể chứng tỏ là quan trọng để ngăn chặn sự ảm lên toàn cầu quá mức.</p> |

4. Hợp tác quốc tế về geoenengineering

Khi cân nhắc một số hình thức hợp tác hay giám sát quốc tế về môi trường, một số ý kiến cho rằng hình thức một hiệp định đa phương sẽ bổ sung cho các hiệp ước đang tồn tại hoặc phát triển mở rộng dựa trên các đàm phán hiện đang diễn ra về các vấn đề quan tâm quốc tế khác, như biến đổi khí hậu chẳng hạn. Các hiệp định quốc tế có khả năng thiết lập các tiêu chuẩn có tính quy phạm đối với một lĩnh vực khoa học mới nổi ở cấp quốc tế, tạo nên các thể chế có hiệu lực toàn cầu và cung cấp một khuôn khổ tuân theo đó tính minh bạch được tăng cường, các điều chỉnh phát triển có thể thực hiện, và các thảo luận đa phương tương lai có thể nảy sinh.

Tuy nhiên, hiệu lực của các hiệp ước quốc tế có thể trở thành điểm yếu của các hiệp định đa phương. Các hiệp ước được dựa trên cơ sở một quá trình có tính bảo thủ cố hữu. Các quốc gia thường thương lượng bằng cách điều chỉnh các cam kết của mình đến một mức độ mà họ chắc chắn là có thể hòa hợp về khía cạnh kỹ thuật, kinh tế, xã hội và chính trị. Nếu các cam kết được lĩnh hội quá cao, các quốc gia có thể lờn vào ngôn ngữ mơ hồ nhằm làm cho hiệp định trở nên có thể chấp nhận được hay đơn giản hơn họ có thể từ chối tham gia.

Ngoài ra, có thể là khó khăn, đặc biệt là khi một bối cảnh quốc tế là mới và đang tiến triển, để phát triển một sự đồng thuận quốc tế dựa trên một tập hợp các chuẩn mực, không kể đến các cam kết, trước những khác biệt về văn hóa, chính trị, môi trường và kinh tế giữa các quốc gia trên thế giới là điều khó khăn. Hậu quả là quá trình phát triển các chuẩn mực này có thể tốn nhiều thời gian và có nguy cơ bị bế tắc. Một số người lo ngại rằng, trước những trở ngại đó, chỉ có một "chuẩn mực" duy nhất mà các quốc gia sẽ sẵn sàng nhất trí ở giai đoạn ban đầu trong lĩnh vực khoa học geoenengineering, đó là một sự tạm dừng đối với các hoạt động nghiên cứu và triển khai. Các ý kiến này cho rằng các quốc gia vẫn còn thiếu năng lực và động cơ chính trị để thực hiện geoenengineering có thể cho rằng ở đây không có nhiều ích lợi từ việc cho phép các nước khác tiến hành thử nghiệm.

Hiện nay, vẫn chưa có một thỏa thuận quốc tế nào được kiến nghị liên quan đến việc thực hiện ở quy mô đầy đủ các hoạt động geoenengineering. Tuy nhiên, các nguyên tắc của Luật thông lệ quốc tế và các hiệp định quốc tế hiện tại có thể áp dụng đối với các dự án nghiên cứu hay triển khai geoenengineering. Các chính phủ

có thể dựa vào các nguyên tắc này nếu họ lựa chọn cách phát triển một cách tiếp cận mang tính quốc tế toàn diện hơn đối với geoenvironment, có thể bằng cách đàm phán một hiệp định quốc tế mới hoặc cũng có thể phát triển mở rộng dựa trên các hiệp định đã tồn tại.

Các nguyên tắc của Luật Thông lệ quốc tế

Luật thông lệ quốc tế là kết quả của thông lệ chung và nhất quán bởi các nước tuân thủ theo nghĩa vụ pháp lý. Trách nhiệm được thiết lập theo Luật Thông lệ quốc tế nhìn chung là để ràng buộc các nước. Khó có thể quyết định khi nào thì một thông lệ phổ biến phát triển thành một trách nhiệm được áp đặt bởi luật thông lệ quốc tế. Tuy nhiên, tuân theo luật thông lệ quốc tế, các nước có nghĩa vụ không gây ra tổn hại nghiêm trọng xuyên biên giới. Bởi vì geoenvironment có tiềm năng gây tác động xuyên biên giới, nghĩa vụ này có thể được coi là liên đới đến các dự án nghiên cứu và/hoặc triển khai geoenvironment.

Các hiệp định quốc tế có mối liên quan tiềm năng đến geoenvironment

Ngoài việc thiết lập các nghĩa vụ độc lập, luật thông lệ quốc tế còn thông báo về tầm quan trọng pháp lý đối với các nước khi tham gia vào các hiệp định quốc tế. Như được phản ánh trong Công ước Vienna về Luật lệ thỏa thuận (VCLT), luật thông lệ quốc tế quy định rằng các quốc gia đã ký kết một hiệp định quốc tế cần kiểm soát các hành động sẽ gây xâm hại đến đối tượng và mục đích của hiệp định đó, trừ khi quốc gia đó tuyên bố không phê chuẩn hiệp ước. VCLT cũng lập thành điều lệ rằng một hiệp ước có thể không tạo nên các nghĩa vụ và quyền hạn đối với một bên không tham gia nếu không được ưng thuận. Nói theo cách khác, các nước không tham gia vào một hiệp ước quốc tế có thể không bị ràng buộc phải tuân thủ.

Các nghĩa vụ được thiết lập từ các hiệp ước và hiệp định quốc tế dưới đây cần được phân tích tuân thủ theo các nguyên tắc của luật thông lệ quốc tế. Các hiệp định quốc tế về biến đổi khí hậu là những hiệp định có tầm quan trọng nhất đối với một phạm vi rộng các dự án về geoenvironment, bởi vì chúng khuyến khích các bên tham gia thực hiện các chính sách quốc gia và các hành động giảm nhẹ để làm giảm phát xạ khí nhà kính ở đất nước mình. Tuy nhiên, các hiệp định này hiện nay không đề cập đến geoenvironment một cách rõ ràng. Các hiệp định đó bao gồm:

- *Công ước khung về biến đổi khí hậu của Liên hiệp quốc (UNFCCC).*
UNFCCC bắt đầu mở cho các bên tham gia vào năm 1992 và có hiệu lực từ

năm 1994. Tuân theo UNFCCC, các bên tham gia được yêu cầu: 1) thu thập và chia sẻ thông tin về phát xạ khí nhà kính, các chính sách quốc gia và các kinh nghiệm thực hành tốt nhất; 2) khởi xướng các chiến lược quốc gia liên quan đến phát thải khí nhà kính và thích ứng với các tác động có khả năng xảy ra; 3) Hợp tác để chuẩn bị cho sự thích nghi với các tác động của biến đổi khí hậu. Các bên tham gia có nghĩa vụ hợp tác và trao đổi thông tin về các công nghệ, và các hậu quả tiềm năng kinh tế, xã hội của các chiến lược ứng phó, cũng như cân nhắc kỹ lưỡng đối với các hành động nhằm đáp ứng các nhu cầu và mối quan tâm của các nước đang phát triển có thể bị tác động bất lợi do việc thực hiện các biện pháp ứng phó trước biến đổi khí hậu.

- *Nghị định thư Kyoto*. Nghị định thư Kyoto bắt đầu ký kết vào năm 1997 và bắt đầu có hiệu lực năm 2005. Hoa Kỳ đã ký kết nhưng không trở thành một thành viên tham gia Nghị định thư Kyoto. Nghị định thư bổ sung cho UNFCCC bằng việc cam kết các nước tham gia có thu nhập cao của mình có nghĩa vụ pháp lý phải giảm phát thải khí nhà kính, giai đoạn đầu kết thúc vào năm 2012.
- *Hiệp ước Copenhagen*. Không giống với Nghị định thư Kyoto và UNFCCC, Hiệp ước Copenhagen 2009 là một hiệp định chính trị không ràng buộc. Hiệp ước yêu cầu các nước thuộc nhóm Annex 1 của UNFCCC (các nước công nghiệp hóa và các nền kinh tế trong giai đoạn chuyển tiếp) phải thiết lập các mục tiêu phát xạ của nước mình đến năm 2020 và phải đo đạc, báo cáo và kiểm tra tiến độ thực hiện hướng đến các mục tiêu đã đặt ra và tuân thủ theo các hướng dẫn đã được thông qua tại Hội nghị các bên tham gia (Conference of the Parties - COP), và các nước không thuộc nhóm Annex 1 (tức là các nước đang phát triển) phải triển khai các "hành động giảm nhẹ" nhằm làm giảm nồng độ phát thải khí nhà kính, mặc dù không thiết lập mục tiêu phát xạ, và phải đo lường, báo cáo và kiểm tra sự thực hiện các hành động đó.
- *Công ước về đa dạng sinh học (CBD)*. CBD bắt đầu được ký kết vào năm 1992 và có hiệu lực tháng 12 năm 1993. Nguyên tắc chủ yếu của CBD là các nước có chủ quyền khai thác các nguồn lực riêng của mình, theo đuổi

các chính sách nội địa của mình và có trách nhiệm đảm bảo rằng các hoạt động nằm trong tầm kiểm soát của họ và không gây ra bất cứ một tổn hại nào đến môi trường của các quốc gia khác hay đến các địa phận vượt ra ngoài giới hạn khu vực thuộc phạm vi quyền hạn quốc gia. Vào tháng 10 năm 2010, COP lần thứ 10 của CBD đã thông qua các điều khoản kêu gọi các bên tham gia tạm thời không xúc tiến geoenvironment, bao gồm "bất cứ công nghệ nào có chủ định làm giảm độ chiếu sáng mặt trời hay làm gia tăng thu giữ cacbon từ khí quyển với quy mô lớn có thể gây ảnh hưởng đến tính đa dạng sinh học", trừ khi các bên tham gia đã cân nhắc đầy đủ các nguy cơ và tác động của các hoạt động này đến tính đa dạng sinh học. COP cũng đã khẳng định quyết định trước đó của mình, IX/16C, trong đó thừa nhận hoạt động của Công ước London (London Convention) và Nghị định thư London (London protocol) liên quan đến màu mỡ hóa đại dương và yêu cầu các bên tham gia của mình đảm bảo rằng không tiến hành các hoạt động màu mỡ hóa đại dương cho đến khi có được một cơ sở khoa học thỏa đáng biện minh cho các hoạt động này, hoặc chỉ tiến hành các hoạt động ở quy mô nhỏ trong phạm vi vùng ven biển của mình để phục vụ cho các công trình nghiên cứu khoa học.

Như vậy là cho đến nay vẫn chưa có một tổ chức quốc tế nào được ủy thác trực tiếp tiến hành các hoạt động geoenvironment với quy mô đầy đủ. Tuy nhiên, các tổ chức hiện đang tồn tại có thể điều chỉnh cho phù hợp với mục đích này nếu các hiến chương của họ được điều chỉnh hoặc mở rộng. Việc đánh giá xem dạng tổ chức nào sẽ phù hợp nhất với các hoạt động geoenvironment là điều khó thực hiện, do sự hiểu biết còn quá ít ỏi hiện nay về các thành phần kỹ thuật, kinh tế, xã hội và chính trị của các công nghệ này. Vì thế, ở đây đang diễn ra sự tranh luận về cơ cấu và khuôn khổ lý tưởng của một thể chế quốc tế sẽ chịu trách nhiệm về các hoạt động hay chính sách geoenvironment.

Có rất nhiều yếu tố cần cân nhắc trước khi quyết định có nên thành lập một tổ chức quốc tế mới để đảm trách các hoạt động geoenvironment không hay chỉ trao quyền hạn về geoenvironment cho một tổ chức quốc tế hay một nhóm đã tồn tại. Một số yếu tố được liệt dưới đây:

- Chức năng thực hiện của tổ chức quốc tế đó;

- Cấp hội viên tham gia và tính bao gồm của tổ chức;
- Quy mô các nguồn lực và kinh nghiệm mà tổ chức quốc tế này cần khai thác;
- Phạm vi quyền hạn thích hợp, hay các quyền tài phán của tổ chức quốc tế này;
- Các quy chế biểu quyết phù hợp nhất để tổ chức quốc tế này có thể thực hiện các quyết định có tính bao hàm nhưng cũng có thể đáp ứng được về sự nhanh nhạy thích hợp đối với các vấn đề mới.

Một số nhà quan sát cho rằng thao tác kỹ thuật hệ thống khí hậu là một hoạt động toàn cầu với các tác động xuyên biên giới, vì vậy chỉ có một tổ chức đa phương mới thích hợp để thực hiện hoạt động này. Loại hình thực thể này có thể là Liên hiệp quốc, một tổ chức chuyên môn hóa hay một cơ quan trực thuộc Liên hiệp quốc, như Chương trình Môi trường Liên hiệp quốc (UNEP) hay Tổ chức Biển quốc tế (IMO), hoặc một ban thư ký của một công ước môi trường thuộc Liên hiệp quốc, như ban thư ký cho Công ước Liên hiệp quốc về biến đổi khí hậu chẳng hạn. Một số lợi thế liên quan đến việc tham gia của một tổ chức quốc tế như vậy gồm: 1) phạm vi hoạt động thực sự mang tính quốc tế; 2) khả năng tiếp cận đến ngân sách và các nguồn lực lớn; 3) Tính hợp pháp và tác dụng đòn bẩy với các nước khác nhau và các thành phần cổ đông khác nhau; 4) có kinh nghiệm giải quyết và phát triển một sự đồng thuận xung quanh các vấn đề gây tranh cãi ở một quy mô quốc tế.

Tuy nhiên, trong khi một tổ chức đa phương có thể trợ giúp trong việc mang lại tính minh bạch, bao hàm và tính công bằng đối với sự giám sát geoengineering, quy trình của Liên hiệp quốc thường chậm và phức tạp theo thiết kế và có thể không đáp ứng được việc phải phản ứng đủ nhanh đối với các hoạt động geoengineering. Ngoài ra, một số người lo ngại rằng việc đưa geoengineering vào phạm vi quyền hạn của một tổ chức đa phương đã tồn tại trước có thể dẫn đến sự luồn lọt sứ mệnh và mâu thuẫn về lợi ích. Các ý kiến này cho rằng tổ chức đó có thể làm chệch hướng khỏi geoengineering bởi vì nhiệm vụ chủ yếu của nó, hoặc nó cũng có thể bị buộc phải phân bổ ít thời gian và nguồn lực của mình hơn để đạt được nhiệm vụ chính.

KẾT LUẬN

Các khuyến nghị chính sách quốc gia liên quan đến biến đổi khí hậu

Các tác động của biến đổi khí hậu là nghiêm trọng nhưng không phân bố một cách đồng đều, các nước nghèo nhất cùng với những người dân của mình sẽ phải chịu ảnh hưởng sớm nhất và nặng nề nhất. Và một khi có những tổn hại xảy ra thì cũng sẽ là quá muộn để có thể đảo ngược quá trình này. Vì vậy để khắc phục thách thức to lớn này các quốc gia cần sớm soạn thảo các chính sách chống biến đổi khí hậu với một cách tiếp cận toàn diện, với các biện pháp giảm nhẹ và thích nghi, và chính sách phát triển và ứng dụng các công nghệ mới tiên tiến giảm thiểu phát thải khí nhà kính và chống biến đổi khí hậu toàn cầu.

Một sự hiểu biết sâu xa, toàn diện về các mục tiêu ổn định lâu dài sẽ là một chỉ dẫn có tính quyết định đối với việc hoạch định chính sách về biến đổi khí hậu: nó sẽ thu hẹp mạnh mẽ phạm vi các con đường phát thải có thể chấp nhận. Các chính sách cần phù hợp với những tình huống đang thay đổi do các chi phí và lợi ích của việc ứng phó với biến đổi khí hậu đã trở nên rõ ràng hơn cùng với thời gian. Các chính sách cũng cần được xây dựng dựa trên các điều kiện và các cách tiếp cận quốc gia khác nhau trong việc hoạch định chính sách. Nhưng các mối liên kết mạnh mẽ giữa các hành động hiện nay và các mục tiêu lâu dài cần được đặt lên hàng đầu trong hoạch định chính sách. Có ba yếu tố chính sách về giảm nhẹ được cho là thiết yếu, đó là: định giá cacbon, chính sách công nghệ và gỡ bỏ những trở ngại đối với thay đổi hành vi. Nếu bỏ qua bất cứ một trong những yếu tố này sẽ làm gia tăng đáng kể các chi phí hành động.

Thiết lập giá cacbon, thông qua thuế, trao đổi hay quy định, là nền tảng thiết yếu đối với chính sách biến đổi khí hậu.

Yếu tố đầu tiên của chính sách đó là định giá cacbon. Khí nhà kính theo các điều khoản kinh tế được coi là tác nhân bên ngoài: những người gây phát thải khí nhà kính, dẫn đến biến đổi khí hậu, qua đó làm phát sinh các chi phí đối với thế giới và các thế hệ tương lai, nhưng bản thân họ lại không đối mặt với những hậu quả đầy đủ từ các hành động của mình. Việc đưa ra một mức giá thích hợp đối với cacbon, một cách rõ ràng thông qua thuế và trao đổi, hay theo cách ngầm ẩn thông qua quy định, có nghĩa rằng mọi người dân đều phải đối mặt với mọi chi phí xã hội phát sinh do chính những hành động của bản thân mình gây ra. Điều này sẽ buộc các cá nhân và các doanh nghiệp phải tìm cách chuyển hướng từ các hàng hóa và dịch vụ cacbon cao sang đầu tư vào các loại hình thay thế cacbon thấp hơn.

Hiệu quả kinh tế chỉ ra những lợi thế của việc định giá cacbon chung toàn cầu: khi đó giảm phát thải sẽ diễn ra theo cách rẻ nhất.

Sự lựa chọn công cụ chính sách sẽ phụ thuộc vào hoàn cảnh quốc gia của các nước, vào đặc trưng của từng ngành cụ thể, và vào mối tương tác giữa chính sách biến đổi khí hậu và các chính sách khác. Các chính sách cũng có những khác biệt quan trọng ở hậu quả của chúng đối với sự phân bổ các chi phí giữa các cá nhân, và các tác động của chúng đến tài chính công. Việc đánh thuế có một lợi thế về cung cấp một nguồn thu nhập ổn định, trong khi đối với trường hợp trao đổi, việc gia tăng sử dụng hình thức đấu giá đường như sẽ có lợi ích mạnh mẽ đối với hiệu quả, đối với phân bổ và tài chính công. Một số chính phủ có thể lựa chọn để tập trung vào các xúc tiến trao đổi, một số khác chú trọng đến đánh thuế hay quy định điều tiết, và các nước khác có thể thực hiện một hỗn hợp các chính sách. Và sự lựa chọn có thể khác nhau giữa các lĩnh vực.

Các chính sách cần thiết để hỗ trợ cho sự triển khai một phạm vi rộng các công nghệ cacbon thấp và hiệu quả cao trong khoảng thời gian cấp bách.

Thành phần thứ hai của chính sách biến đổi khí hậu đó là chính sách công nghệ, bao trùm một phổ rộng từ nghiên cứu đến phát triển, đến thao diễn và triển khai giai đoạn đầu. Sự phát triển và triển khai một phạm vi rộng các công nghệ cacbon thấp là điều thiết yếu để đạt được những cắt giảm cần thiết về phát xạ. Khu vực tư nhân có thể đóng một vai trò quan trọng trong tiến hành NC-PT và phổ biến công nghệ, nhưng sự hợp tác chặt chẽ giữa chính phủ và ngành công nghiệp sẽ kích thích hơn nữa sự phát triển các lĩnh vực đầu tư mở rộng về công nghệ cacbon thấp và giảm chi phí. Nhiều công nghệ cacbon thấp hiện nay đang có chi phí đắt hơn các công nghệ nhiên liệu hóa thạch. Nhưng kinh nghiệm cho thấy rằng các chi phí công nghệ sẽ giảm cùng với quy mô và kinh nghiệm.

Việc định giá cacbon mang lại một sự khuyến khích để đầu tư vào các công nghệ mới làm giảm cacbon và thực sự là nếu không làm được điều đó thì sẽ có rất ít lý do để thực hiện những đầu tư như vậy. Nhưng đầu tư vào các công nghệ cacbon thấp, mới cũng có những rủi ro. Các công ty có thể lo ngại rằng họ sẽ không có thị trường cho các sản phẩm mới của mình nếu chính sách định giá cacbon không được duy trì trong tương lai. Và khi tri thức đạt được từ nghiên cứu và phát triển là một hàng hóa công, các công ty có thể đầu tư không đủ vào các dự án với sự hoàn trả xã hội lớn nếu họ lo sợ rằng họ sẽ không thể nắm bắt được các lợi ích một cách trọn vẹn. Như vậy là ở đây có những lý do kinh tế xác đáng để thúc đẩy công nghệ mới một cách trực tiếp.

Chi tiêu công cho nghiên cứu, phát triển và thao diễn đã giảm đáng kể trong hai thập kỷ gần đây và tại các nước phát triển có hiện trạng là chi tiêu này tương đối thấp so với của các ngành công nghiệp. Ở đây có khả năng lợi nhuận tăng cao từ việc tăng gấp đôi khoản đầu tư trong lĩnh vực này lên đến khoảng 20 tỷ USD mỗi năm ở quy mô toàn cầu, để hỗ trợ cho việc phát triển một danh mục đa dạng các lĩnh vực đầu tư vào các công nghệ mới. Trong một số ngành, đặc biệt là lĩnh vực sản xuất điện, nơi mà các công nghệ mới có thể gặp khó khăn để có được chỗ đứng, các chính sách hỗ trợ thị trường đối với công nghệ mới ở giai đoạn ban đầu này sẽ có ý nghĩa quyết định. Theo đánh giá của các chuyên gia, quy mô của các biện pháp khuyến khích triển khai công nghệ hiện tại cần tăng lên từ hai đến năm lần, từ mức hiện nay khoảng 34 tỷ USD mỗi năm. Các biện pháp như vậy sẽ là động cơ mạnh mẽ thúc đẩy đổi mới đối với khu vực doanh nghiệp để xúc tiến một phạm vi rộng các công nghệ cần thiết.

Việc gỡ bỏ các ngáng trở đối với sự thay đổi hành vi là yếu tố thiết yếu thứ ba, là thành phần đặc biệt quan trọng trong việc khuyến khích nắm lấy các cơ hội về hiệu suất năng lượng.

Thành phần thứ ba đóng vai trò gỡ bỏ những trở ngại đối với sự thay đổi hành vi. Thậm chí ngay cả khi các biện pháp làm giảm phát xạ có hiệu quả chi phí, ở đây vẫn tồn tại các vật cản có thể ngáng trở hành động. Những yếu tố đó bao gồm việc thiếu thông tin đáng tin cậy, các chi phí giao dịch, và tính trì trệ về hành vi và tổ chức. Tác động của nghiên cứu rào cản đó có thể nhận thấy một cách rõ rệt nhất ở sự thất bại thường xuyên trong việc làm hiện thực hóa tiềm năng của các biện pháp hiệu suất năng lượng hiệu quả.

Các biện pháp điều tiết có thể đóng một vai trò mạnh mẽ trong việc cắt giảm những điều phức tạp này và mang lại sự rõ ràng và chắc chắn. Tiêu chuẩn tối thiểu đối với các tòa nhà và thiết bị đã chứng tỏ là một phương thức có hiệu quả để nâng cao hiệu suất, nơi mà chỉ có các tín hiệu về giá cả không thôi có thể không phát huy được tác động quan trọng.

Các chính sách thông tin, trong đó có việc ghi nhãn và chia sẻ kinh nghiệm tốt nhất, có thể giúp người tiêu dùng và các doanh nghiệp thực hiện các quyết định sáng suốt, và kích thích các thị trường cạnh tranh về các hàng hóa và dịch vụ carbon thấp và hiệu quả cao.

Việc thúc đẩy chia sẻ sự hiểu biết về bản chất của sự biến đổi khí hậu và các hậu quả của nó, là điều quyết định đối với sự hình thành hành vi cũng như củng cố cho hành động quốc gia và quốc tế. Các chính phủ có thể đóng vai trò xúc tác trong các cuộc đối thoại thông qua sự chứng minh, giáo dục, thuyết phục và thảo luận. Việc giáo dục học sinh phổ thông về thay đổi khí hậu sẽ giúp định hình và giữ vững việc hoạch định chính sách tương lai và cuộc thảo luận rộng rãi trong công chúng và quốc tế sẽ hỗ trợ cho các nhà hoạch định chính sách hôm nay trong việc bắt tay vào hành động mạnh mẽ ngay từ bây giờ.

Chính sách thích nghi là điều quyết định để đối phó với những tác động không thể tránh khỏi của sự biến đổi khí hậu, nhưng điều này hiện đang không được chú trọng đúng mức tại nhiều quốc gia.

Thích nghi là phản ứng duy nhất hiện có đối với các tác động sẽ xảy ra trong vòng vài thập kỷ tới trước khi các biện pháp giảm nhẹ có thể có tác dụng.

Không giống như việc giảm nhẹ, thích nghi trong hầu hết các trường hợp sẽ mang lại các lợi ích cục bộ, hiện thực hóa không cần phải đợi một thời gian dài. Vì vậy, một số sự thích nghi sẽ xảy ra theo cách tự sinh, như các cá nhân phản ứng trước những thay đổi thị trường hay môi trường. Một số khía cạnh của thích nghi, như những quyết định quan trọng về cơ sở hạ tầng sẽ đòi hỏi một sự thấy trước và lập kế hoạch lớn hơn. Ở đây cũng có một số khía cạnh thích nghi yêu cầu hàng hóa công cung cấp các lợi ích toàn cầu, trong đó có cả thông tin được cải thiện về hệ thống khí hậu và các giống cây trồng và công nghệ thích nghi khí hậu.

Thông tin định lượng về các chi phí và lợi ích của sự thích nghi trên phạm vi toàn bộ nền kinh tế hiện vẫn còn hạn chế. Các nghiên cứu trong các lĩnh vực nhạy cảm khí hậu đã chỉ ra nhiều phương án thích nghi sẽ mang lại lợi ích vượt quá chi phí. Nhưng với nhiệt độ cao hơn, chi phí thích nghi sẽ tăng lên mạnh và sự thiệt hại còn lại là vẫn lớn. Các chi phí bổ sung của việc xây dựng cơ sở hạ tầng và các tòa nhà mới chống chịu được với biến đổi khí hậu tại các nước OECD có thể lên tới 15-150 tỷ USD mỗi năm (chiếm 0,05-0,5% GDP). Thách thức của sự thích nghi sẽ đặc biệt gay gắt tại các nước đang phát triển, là nơi có tính dễ bị tổn thương hơn và nghèo khổ sẽ làm hạn chế khả năng hành động. Cũng như tại các nước phát triển, chi phí tuy có thể khó ước tính, nhưng có khả năng lên đến chục tỷ đôla.

Chính phủ đóng một vai trò trong việc cung cấp một khuôn khổ chính sách chỉ đạo sự thích nghi có hiệu quả đối với các cá nhân và các công ty trong giai đoạn trung và dài hạn. Ở đây có bốn lĩnh vực then chốt gồm:

- Thông tin khí hậu chất lượng cao và các công cụ quản lý rủi ro sẽ giúp chi phối các thị trường một cách có hiệu quả. Nâng cấp dự báo khí hậu khu vực sẽ là điều quyết định, đặc biệt là về các mẫu hình lượng mưa và bão.
- Lập kế hoạch sử dụng đất và các tiêu chuẩn thực hiện sẽ khuyến khích đầu tư tư nhân và đầu tư công vào các tòa nhà và các cơ sở hạ tầng bền vững khác tính toán đến sự biến đổi khí hậu.
- Chính phủ có thể đóng góp thông qua các chính sách dài hạn đối với hàng hóa công nghệ cảm khí hậu, bao gồm cả việc bảo toàn tài nguyên thiên nhiên, bảo vệ vùng ven biển và cả sự sẵn sàng với tình trạng khẩn cấp.
- Một mạng lưới an toàn tài chính có thể là cần thiết đối với những người nghèo nhất trong xã hội, họ là những người dễ bị tổn thương nhất trước những tác động và khó có thể có được sự bảo vệ (kể cả bảo hiểm).

Bản thân sự phát triển bền vững mang lại sự đa dạng hóa, tính linh hoạt và nguồn nhân lực, là những thành phần quan trọng của thích nghi. Thực vậy, phần lớn sự thích nghi chỉ đơn giản là sự mở rộng thực tiễn phát triển, ví dụ như sự thúc đẩy phát triển tổng thể, quản lý thảm họa và phản ứng tốt hơn trong trường hợp khẩn cấp. Hành động thích nghi cần được tích hợp vào trong chính sách và lập kế hoạch hóa phát triển ở mọi cấp.

Kỹ thuật khí hậu (geoengineering) là một khía cạnh chính sách khác cần cân nhắc. Tuy nhiên đây là một lĩnh vực công nghệ mới nổi, cũng giống như các lĩnh vực đổi mới khoa học khác nó đòi hỏi một sự suy tính cẩn trọng của các nhà hoạch định chính sách, và có thể là cả sự phát triển hay sự điều chỉnh bổ sung của các hiệp định quốc tế, luật pháp và các quy định quy mô quốc gia và quốc tế. Hiện tại, nhiều công nghệ geoengineering mới còn đang ở giai đoạn khái niệm và nghiên cứu, và tính hiệu quả của chúng trong việc làm giảm nhiệt độ toàn cầu vẫn còn chưa được kiểm chứng. Vẫn còn có rất ít các công trình nghiên cứu được công bố, để cho thấy các chi phí, các tác động môi trường, tác động kinh tế xã hội và những liên quan đến luật pháp của công nghệ geoengineering. Tuy nhiên, nếu các công nghệ geoengineering được triển khai, chúng được cho là có tiềm năng gây ra những hiệu ứng quan trọng xuyên qua ranh giới giữa các quốc gia, vì vậy mà chúng cần được chú ý nghiên cứu kỹ lưỡng.

Biên soạn: Đặng Bảo Hà
Nguyễn Phương Anh
Đỗ Phương Nhung
Hà Ngọc Minh

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Technical Summary. 2007, IPCC.
2. US Congressional Research Service: "**Geoengineering: Governance and Technology Policy**", 1/2011.
3. Katharine Ricke, M. Granger Morgan: **Unilateral Geoengineering**, 4/2008. University of Maryland.
4. CRS Report for Congress: **Global Climate Change: Three Policy Perspectives**, 11/2008.
5. CRS Report for Congress: **Climate Change: Science and Policy Implications**, 1/2007.
6. Report: **ENGINEERING THE CLIMATE: RESEARCH NEEDS AND STRATEGIES FOR INTERNATIONAL COORDINATION**. CHAIRMAN BART GORDON, COMMITTEE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY, U.S. HOUSE OF REPRESENTATIVES.
7. KEN CALDEIRA, DAVID W. KEITH: **The Need for Climate Engineering Research**. Issues in S&T, Fall 2010.
8. STERN REVIEW: **The Economics of Climate Change**. Story from BBC NEWS: <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/business/6096084.stm>. 2006.
9. **A Look at Geoengineering Strategies**, 8/2010. Cleanbeta.com.
10. **Asia's Response to Climate Change and Natural Disasters**. A report of CSIS Asian Regionalism Initiative. 7/2010.